

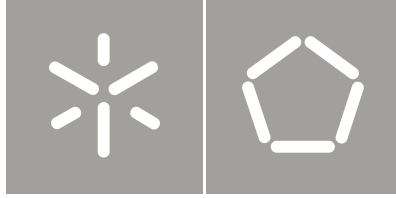


Universidade do Minho
Escola de Engenharia

Paulo Jorge Parreira da Cunha

Conformidade da
Resistência à Compressão do Betão

Paulo Jorge Parreira da Cunha
Conformidade da
Resistência à Compressão do Betão



Universidade do Minho
Escola de Engenharia

Paulo Jorge Parreira da Cunha

Conformidade da
Resistência à Compressão do Betão

Tese de Doutoramento
Engenharia Civil

Trabalho efectuado sob a orientação de
Professor Doutor José Luís Barroso de Aguiar
Professor Doutor Pedro Nuno Ferreira Pinto Oliveira
Professor Doutor Aires Fernando Fernandes Leite
Camões de Azevedo

ÍNDICE GERAL

AGRADECIMENTOS	iii
RESUMO	v
ABSTRACT	vii
ÍNDICE DO TEXTO.....	ix
ÍNDICE DE FIGURAS	xiii
ÍNDICE DE QUADROS.....	xvii
GLOSSÁRIO.....	xix
1. INTRODUÇÃO.....	1
2. PRODUÇÃO E COLOCAÇÃO EM OBRA DE BETÃO: ENQUADRAMENTO NORMATIVO.....	5
3. CONTROLO DA CONFORMIDADE DO BETÃO	93
4. TRABALHO EXPERIMENTAL.....	201
5. CONCLUSÕES.....	311
REFERÊNCIAS	319
ANEXOS	

Agradecimentos

“Onde há uma vontade, há um caminho.”

Agradeço à minha família por todo o apoio e carinho e aos orientadores pela amizade e colaboração construtiva.

Resumo

O não cumprimento da norma NP EN 206-1 [1], que há pouco tempo substituiu a NP ENV 206 [2] e, conseqüente, a não qualidade e não conformidade dos betões, potenciam o surgimento de patologias, quer ao nível da estrutura, quer, por consequência ao nível dos revestimentos e alvenarias, chegando a uma degradação precoce das construções em causa. Este não cumprimento da norma deve-se, frequentemente, ao desconhecimento ou relaxamento, mas também, por vezes, surge com o intuito de poupar material, de forma a aumentar o lucro final.

Os objectivos principais deste trabalho foram a caracterização dos procedimentos adoptados na produção de betão em algumas obras do Distrito de Braga, confrontando-se a sua classe de resistência com aquela exigida no projecto. Neste sentido, procedeu-se à avaliação da resistência do betão “in situ” e à comparação com a classe de resistência obtida nas obras em estudo. Comparou-se a avaliação da resistência do betão tendo por base as normas de Portugal (Europa) e as dos Estados Unidos da América. Acompanhou-se ainda a monitorização de um período de produção de betão numa central de betão do Distrito de Braga. No final, são apresentadas propostas que permitem a melhoria da qualidade dos betões.

Constatou-se que, em relação à anterior norma NP ENV 206 [2], a nova norma NP EN 206-1 [1] é mais exigente com os produtores e com o betão sem certificação do controlo de produção. As normas americanas são mais exigentes no plano de amostragem e atribuem uma classificação às operações de recolha de provetes. Quanto a este aspecto, verificou-se, em obra, uma grande falta de formação dos trabalhadores que lidam de perto com todo este processo.

Independentemente da norma utilizada, podemos dizer que, quanto mais vasta, rápida e apertada for a inspecção, melhor se pode controlar e corrigir a tempo a qualidade do betão empregue, sendo para isso importante uma adequada consciencialização e formação das pessoas intervenientes neste assunto.

Abstract

Failure to comply with the standard NP EN 206-1 [1], which recently replaced the NP ENV 206 [2], and the no quality and no conformity of concrete, catalyze the emergence of pathologies at structures, and consequently the level of finishes and masonry, reaching a premature degradation of the buildings concerned. This failure in relation to the norm, it came from the ignorance or relaxation, but also sometimes in order to save material and to increase their final profit.

The main objectives of this study were to characterize the procedures adopted for the production of concrete in some works in the district of Braga, determining the strength class of concrete produced in these works and the comparison with the resistance required in the project. At this point, we proceeded to evaluate the strength of concrete in situ and comparison with the resistance obtained in the works under study. It was compared the evaluation of concrete strength by the standards of Portugal (Europe), with the United States of America. It was also followed a period of production of concrete in a central production of the District of Braga. In the end, there were proposals that will improve the quality of concrete.

It was found that in comparison with the previous NP ENV 206 [2], the new standard NP EN 206-1 [1] is more demanding with the producers and the concrete without certification of production control. The U.S. rules are more demanding in the sampling plan and assign a classification to the collection of samples. In this matter, there was founded a great lack of training for workers who deal closely with the process.

Whatever the standard used, we can say that when the inspection is broader, faster and tighter, better we can control and correct at time the quality of concrete used. It is important a proper awareness and training of persons involved in this matter.

Índice do Texto

1. INTRODUÇÃO.....	1
1.1 - Considerações Gerais	1
1.2 - Objectivos	2
1.3 - Organização da Tese	3
2. PRODUÇÃO E COLOCAÇÃO EM OBRA DE BETÃO: ENQUADRAMENTO NORMATIVO.....	5
2.1 - O Betão.....	5
2.1.1 - Generalidades	5
2.1.2 - Constituintes do betão	6
2.1.2.1 - Cimento	7
2.1.2.2 - Agregados	17
2.1.2.3 - Água	23
2.1.2.4 - Adjuvantes.....	25
2.1.2.5 - Adições.....	26
2.1.3 - Propriedades do betão	27
2.1.3.1 - Betão fresco.....	27
2.1.3.2 - Betão endurecido.....	33
2.1.4 - Fabrico do betão	41
2.1.5 - Colocação em obra	43
2.1.6 - Aplicação do betão	44
2.1.7 - Transporte	45
2.1.8 - Colocação e compactação	46
2.1.9 - Cura e protecção.....	48
2.1.10 - Descofragem.....	49
2.2 - Projecto de Estruturas de Betão	50
2.2.1 - Classes de exposição	52
2.2.1.1 - Campo de aplicação	52
2.2.1.2 - Classes de exposição ambiental	52
2.2.1.3 - Composição e classe de resistência do betão	53
2.2.1.4 - Combinações de classes de exposição	59
2.2.1.5 - Vida útil de projecto das estruturas de betão armado	60
2.2.1.6 - Desempenho dum betão	61
2.3 - Execução de Estruturas em Betão	63
2.3.1 - Objectivo	64
2.3.2 - Documentação	64
2.3.3 - Cofragens	65
2.3.4 - Armaduras e pré-esforço	67

2.3.5 - Betonagem.....	72
2.3.6 - Trabalhos de acabamento.....	76
2.3.7 - Tolerâncias geométricas.....	76
2.3.8 - Fundações.....	77
2.3.9 - Inspeção.....	78
3. CONTROLO DA CONFORMIDADE DO BETÃO	93
3.1 - Conformidade dos Produtos de Construção.....	93
3.1.1 - Directivas e Normas Europeias.....	94
3.1.2 - Aprovação Técnica Europeia (ETA).....	99
3.1.3 - Avaliação da Conformidade.....	101
3.2 - Controlo da Conformidade do Betão em Portugal.....	103
3.2.1 - Resistência à compressão segundo a NP ENV 206 [2].....	107
3.2.1.1 - Controlo da conformidade.....	107
3.2.1.2 - Sistema de verificação.....	108
3.2.1.3 - Plano de amostragem	108
3.2.1.4 - Critérios de conformidade da resistência à compressão.....	109
3.2.2 - Resistência à compressão segundo a NP EN 206-1 [1]	112
3.2.2.1 - Frequência mínima de amostragem para avaliação da conformidade	112
3.2.2.2 - Critérios de conformidade da resistência à compressão.....	113
3.2.2.3 - Critério de confirmação para os membros da família	114
3.2.2.4 - Ensaio de identidade para a resistência à compressão	114
3.2.3 - Resistência à tracção	116
3.2.3.1 - Critérios de conformidade da resistência à tracção.....	116
3.2.4 - Critérios de conformidade para outras propriedades que não a resistência	117
3.3 - Controlo da Conformidade do Betão nos EUA.....	118
3.3.1 - A norma ACI 318-02 [3].....	118
3.3.1.1 - Frequência de ensaios	125
3.3.1.2 - Cura dos provetes	126
3.3.1.3 - Preparação dos equipamentos e local de descarga.....	129
3.3.1.4 - A mistura e o transporte	130
3.3.1.5 - Cura do betão	132
3.3.2 - ACI 214R-02 [4] - Avaliação dos resultados dos ensaios de resistência do betão	134
3.3.2.1 - Introdução	134
3.3.2.2 - Fontes de variação da resistência	135
3.3.2.3 - Análise dos resultados da resistência à compressão	138
3.3.2.4 - Critérios para estabelecer a resistência mínima exigida	145
3.3.2.5 - Avaliação de resultados.....	154
3.3.2.6 - Exemplo prático	157
3.3.3 - CUSUM.....	162

3.3.3.1 - Exemplo da técnica CUSUM	163
3.3.3.2 - Avaliação das tendências	170
3.3.3.3 - Desenho de máscaras	171
3.3.4 - Tipo de cálculos efectuados para o método CUSUM	172
3.3.4.1 - Execução de gráficos CUSUM	174
3.3.4.2 - Uso de máscaras	175
3.3.4.3 - Variação indicada no CUSUM M	176
3.3.4.4 - Variação indicada no CUSUM R	177
3.3.4.5 - Variação indicada no CUSUM C	178
3.3.4.6 - Resultados atípicos	179
3.4 - Boas Práticas na Recolha dos Provetes e Carotes	180
3.4.1 - Preparação de provetes	180
3.4.1.1 - Objectivo	182
3.4.1.2 - Amostragem	183
3.4.1.3 - Compactação, nivelamento e marcação	183
3.4.1.4 - Cura	185
3.4.1.5 - Relatório de ensaio	185
3.4.2 - Carotagem	186
3.4.2.1 - Relação da resistência à compressão com a classe de resistência	188
3.4.2.2 - Avaliação da resistência à compressão através de carotes	189
3.4.2.3 - Factores que influenciam a resistência das carotes	192
3.4.2.4 - Relatório da avaliação	194
3.4.2.5 - Ensaio à compressão	196
4. TRABALHO EXPERIMENTAL	201
4.1 - Descrição do Trabalho Experimental	201
4.1.1 - Laboratório - Controlo da conformidade dos betões ensaiados entre os anos 1998 e 2008	201
4.1.2 - Obra - Recolha de provetes em dez obras do distrito de Braga	202
4.1.3 - Central de produção de betão	210
4.1.4 - Exemplo dos cálculos efectuados	212
4.1.4.1 - Aplicação da norma NP ENV 206 [2]	212
4.1.4.2 - Tipo de cálculos efectuados para a norma NP EN 206-1 [1]	214
4.1.4.3 - Tipo de cálculos efectuados para as normas ACI 318 [3] e ACI 214R-02 [4]	217
4.1.4.4 - Tipo de cálculos efectuados para a carotagem com a norma NP EN 13791 [67]	221
4.1.4.5 - Tipo de cálculos efectuados para a carotagem com a norma ASTM C42 [61]	222
4.2 - Apresentação de Resultados	223
4.2.1 - Laboratório - Controlo da conformidade dos betões ensaiados entre os anos 1998 e 2008	223
4.2.1.1 - Análise por obra, de 1998 a 2008	223
4.2.1.2 - Análise das classes de 1998 a 2008	240

4.2.1.3 - Análise por empreiteiro ao longo dos anos	254
4.2.2 - Recolha de provetes e carotes em dez obras do distrito de Braga.....	260
4.2.2.1 - Análise dos resultados segundo as normas NP EN 206-1 [1] e NP ENV 206 [2]	261
4.2.2.2 - Aplicação das normas americanas ACI 318 [3], ACI 214R-02 [4] e ASTM C42 [61].....	288
4.2.2.3 - Análise global da aplicação das normas aos resultados das 10 obras em estudo.....	291
4.2.3 - Análise da central de produção	294
4.2.3.1 - Análise dos resultados segundo a norma NP EN 206-1 [1]	297
4.2.3.2 - Análise dos resultados segundo a norma NP ENV 206 [2]	301
4.2.3.3 - Aplicação das normas ACI 318 [3] e ACI 214R-02 [4] e análise dos resultados segundo o método CUSUM	302
4.2.3.4 - Análise global da aplicação das normas na central de produção	306
4.2.3.5 - Controlo da conformidade da consistência	309
5. CONCLUSÕES	311
REFERÊNCIAS	319

ANEXOS

Índice de Figuras

2. PRODUÇÃO E COLOCAÇÃO EM OBRA DE BETÃO: ENQUADRAMENTO	
NORMATIVO.....	5
Figura 2.1 - Grânulos de cimento Portland – 1 hora e 4 horas de hidratação [10].	8
Figura 2.2 - Grânulos de cimento Portland – 5 horas e 18 horas de hidratação [10]	8
.....	8
Figura 2.3 - Zona de interface pasta-polímero [10].....	8
Figura 2.4 - Clinquer de Cimento Portland [10].....	9
Figura 2.5 - Escória de alto forno [10]	10
Figura 2.6 - Cinzas volantes [10]	10
Figura 2.7 - Máxima dimensão do material agregado [16]	18
Figura 2.8 - Metodologia para avaliação da reactividade dos agregados.....	21
Figura 2.9 - Ensaio de abaixamento realizado em obra.....	29
Figura 2.10 - Ensaio VB [27]	30
Figura 2.11 - Tipos de rotura [16]	34
Figura 2.12 - Diagrama tensão-extensão	36
Figura 2.13 - Relação tensão-extensão.....	37
Figura 2.14 - Influência da razão A/C e dosagem de agregado na retracção [16]	39
Figura 2.15 - Influência do tempo sobre a fluência.....	40
Figura 2.16 - Betoneira.....	43
Figura 2.17 - Central de betão	45
Figura 2.18 - Autobetoneira.....	46
Figura 2.19 - Colocação e Compactação [41]	47
Figura 2.20 - Processo de cura com aplicação de cobertura húmida (geotextil)	
[41]	49
Figura 2.21 - Desmontagem de cimbres e cofragem de laje [41].....	49
Figura 2.22 - Diagrama parábola-rectângulo de cálculo para $\sigma - \epsilon$ de betão.....	51
Figura 2.23 - Cofragem metálica de paredes e muros [41]	67
Figura 2.24 - Cofragem metálica de pilares [41].....	67
3. CONTROLO DA CONFORMIDADE DO BETÃO	93
Figura 3.1 - Organigrama com normas relativas a estruturas de betão [1].....	104
Figura 3.2 - Resultados individuais	165
Figura 3.3 - Média de três resultados	165
Figura 3.4 - Gráfico CUSUM para resistência à compressão.....	166
Figura 3.5 - Gráfico CUSUM para resultados parciais	169
Figura 3.6 - Gráfico CUSUM para resistência à compressão com três diferentes	
resultados para as médias de resistência.....	169
Figura 3.7 - Máscara de concepção para betão CUSUM	171
Figura 3.8 - Gráficos CUSUM para desvio padrão, resistência média e análise de	
regressão	175
Figura 3.9 - Compactação manual.....	184
Figura 3.10 - Organigrama 1 [67].....	187

4. TRABALHO EXPERIMENTAL.....	201
Figura 4.1 - Vibrador de agulha e moldes	203
Figura 4.2 - Ensaio de Compressão	204
Figura 4.3 - Esquema de extracção das carotes	205
Figura 4.4 - Carotes cilíndricos	209
Figura 4.5 - Peça de betão com 40x40x20cm ³	209
Figura 4.6 - Relação classe do Betão Obtida/ Exigida no ano 1998, com a NP ENV 206.....	224
Figura 4.7 - Relação classe do Betão Obtida/ Exigida no ano 1998, com a NP EN 206-1	225
Figura 4.8 - Relação classe do Betão Obtida/ Exigida no ano 1999, com a NP ENV 206.....	226
Figura 4.9 - Relação classe do Betão Obtida/ Exigida no ano 1999, com a NP EN 206-1	226
Figura 4.10 - Relação classe do Betão Obtida/ Exigida no ano 2000, com a NP ENV 206.....	227
Figura 4.11 - Relação classe do Betão Obtida/ Exigida no ano 2000, com a NP EN 206-1	227
Figura 4.12 - Relação classe do Betão Obtida/ Exigida no ano 2001, com a NP ENV 206.....	228
Figura 4.13 - Relação classe do Betão Obtida/ Exigida no ano 2001, com a NP EN 206-1	228
Figura 4.14 - Relação classe do Betão Obtida/ Exigida no ano 2002, com a NP ENV 206.....	229
Figura 4.15 - Relação classe do Betão Obtida/ Exigida no ano 2002, com a NP EN 206-1	230
Figura 4.16 - Relação classe do Betão Obtida/ Exigida no ano 2003, com a NP ENV 206.....	230
Figura 4.17 - Relação classe do Betão Obtida/ Exigida no ano 2003, com a NP EN 206-1	231
Figura 4.18 - Relação classe do Betão Obtida/ Exigida no ano 2004, com a NP ENV 206.....	231
Figura 4.19 - Relação classe do Betão Obtida/ Exigida no ano 2004, com a NP EN 206-1	232
Figura 4.20 - Relação classe do Betão Obtida/ Exigida no ano 2005, com a NP ENV 206.....	233
Figura 4.21 - Relação classe do Betão Obtida/ Exigida no ano 2005, com a NP EN 206-1	233
Figura 4.22 - Relação classe do Betão Obtida/ Exigida no ano 2006, com a NP ENV 206.....	234
Figura 4.23 - Relação classe do Betão Obtida/ Exigida no ano 2006, com a NP EN 206-1	234
Figura 4.24 - Relação classe do Betão Obtida/ Exigida no ano 2007, com a NP ENV 206.....	235
Figura 4.25 - Relação classe do Betão Obtida/ Exigida no ano 2007, com a NP EN 206-1	235

Figura 4.26 - Relação classe do Betão Obtida/ Exigida no ano 2008, com a NP ENV 206	236
Figura 4.27 - Relação classe do Betão Obtida/ Exigida no ano 2008, com a NP EN 206-1	236
Figura 4.28 - Relação classe do Betão Obtida/ Exigida nos anos de 1998 a 2008, com a NP ENV 206	237
Figura 4.29 - Relação classe do Betão Obtida/ Exigida nos anos de 1998 a 2008, com a NP EN 206-1	237
Figura 4.30 - Classes de Betão Obtida nos anos de 1998 a 2008, com as normas NP ENV 206 e NP EN 206-1	238
Figura 4.31 - Relação de conformidade da resistência à compressão entre as normas NPENV 206 e NP EN 206-1, no intervalo de anos a 1998 a 2008.....	239
Figura 4.32 - Histograma de resultados da classe C16/20 nos anos de 1998 a 2008, com a norma NP ENV 206	241
Figura 4.33 - Relação para a classe C16/20, Betão Obtido/ Exigido nos anos de 1998 a 2008, com as normas NPENV 206 e NP EN 206-1	241
Figura 4.34 - Histograma de resultados da classe C20/25 nos anos de 1998 a 2008, com a norma NP ENV 206	242
Figura 4.35 - Relação para a classe C20/25, Betão Obtido/ Exigido nos anos de 1998 a 2008, com as normas NPENV 206 e NP EN 206-1	243
Figura 4.36 - Relação para a classe C20/25, Betão Obtido/ Exigido, por ano, de 1998 a 2008, com a norma NPENV 206	244
Figura 4.37 - Evolução da classe C20/25 nos anos de 1998 a 2008, com a norma NP ENV 206.....	250
Figura 4.38 - Dispersão dos resultados para a classe C20/25 nos anos de 1998 a 2008, com a norma NP ENV 206.....	250
Figura 4.39 - Histograma de resultados da classe C25/30 nos anos de 1998 a 2008, com a norma NP ENV 206	251
Figura 4.40 - Relação para a classe C25/30, Betão Obtido/ Exigido nos anos de 1998 a 2008, com as normas NPENV 206 e NP EN 206-1	252
Figura 4.41 - Histograma de resultados da classe C35/45 nos anos de 1998 a 2008, com a norma NP ENV 206	253
Figura 4.42 - Relação para a classe C35/45, Betão Obtido/ Exigido nos anos de 1998 a 2008, com as normas NPENV 206 e NP EN 206-1	254
Figura 4.43 - Empreiteiro 1 em obras nos anos de 1998 a 2008, aplicando e verificando as normas NPENV 206 e NP EN 206-1	255
Figura 4.44 - Empreiteiro 2 em obras nos anos de 1998 a 2008, aplicando e verificando as normas NPENV 206 e NP EN 206-1	257
Figura 4.45 - Empreiteiro 3 em obras nos anos de 1998 a 2008, aplicando e verificando as normas NPENV 206 e NP EN 206-1	258
Figura 4.46 - Empreiteiro 4 em obras nos anos de 1998 a 2008, aplicando e verificando as normas NPENV 206 e NP EN 206-1	260
Figura 4.47 - Evolução do betão nas 10 obras.....	268
Figura 4.48 - Relação entre os resultados e a tensão característica na Obra 1 ...	272
Figura 4.49 - Relação entre os resultados e a tensão característica na Obra 2 ...	273
Figura 4.50 - Relação entre os resultados e a tensão característica na Obra 3 ...	274
Figura 4.51 - Relação entre os resultados e a tensão característica na Obra 4 ...	276

Figura 4.52 - Relação entre os resultados e a tensão característica na Obra 5 ...	277
Figura 4.53 - Relação entre os resultados e a tensão característica na Obra 6 ...	279
Figura 4.54 - Relação entre os resultados e a tensão característica na Obra 7 ...	280
Figura 4.55 - Relação entre os resultados e a tensão característica na Obra 8 ...	282
Figura 4.56 - Relação entre os resultados e a tensão característica na Obra 9 ...	283
Figura 4.57 - Relação entre os resultados e a tensão característica na Obra 10 ...	285
Figura 4.58 - Relação entre os resultados de resistência das carotes e os dos cubos	292
Figura 4.59 - Relação na central de produção entre os resultados e a tensão característica da classe C16/20.....	295
Figura 4.60 - Relação na central de produção entre os resultados e a tensão característica da classe C20/25.....	295
Figura 4.61 - Relação na central de produção entre os resultados e a tensão característica da classe C25/30.....	296
Figura 4.62 - Evolução das classes C16/20, C20/25 e C25/30 na central de produção.....	296
Figura 4.63 - Relação na central de produção entre os resultados transpostos e a tensão característica de referência.....	299
Figura 4.64 - Gráficos CUSUM M e CUSUM R dos resultados da classe de betão C16/20 na central de produção.....	304
Figura 4.65 - Gráficos CUSUM R da classe de betão C16/20 na central de produção, para os resultados 23 e 24.....	305
Figura 4.66 - Gráficos CUSUM M e CUSUM R dos resultados da classe de betão C20/25 na central de produção.....	305
Figura 4.67 - Gráficos CUSUM M e CUSUM R dos resultados da classe de betão C25/30 na central de produção.....	305

Índice de Quadros

2. PRODUÇÃO E COLOCAÇÃO EM OBRA DE BETÃO: ENQUADRAMENTO	
NORMATIVO.....	5
Quadro 2.1 - Requisitos mecânicos expressos como valores característicos especificados.....	11
Quadro 2.2 - Propriedades, métodos de ensaio e frequências mínimas de ensaio para o ensaio de autocontrolo do fabricante e procedimento de avaliação estatística.....	12
Quadro 2.3 - Valores limite para resultados individuais	14
Quadro 2.4 - Constante de aceitabilidade k_A	15
Quadro 2.5 - Valores de c_A	16
Quadro 2.6 - Propriedades adicionais dos agregados para certas aplicações; Propriedades não estabelecidas na NP EN 12620	20
Quadro 2.7 - Tipos de rochas e minerais potencialmente reactivos aos álcalis	22
Quadro 2.8 - Tipos de minerais e rochas potencialmente fornecedores de álcalis... ..	22
Quadro 2.9 - Classes de Abaixamento	29
Quadro 2.10 - Classes VB	30
Quadro 2.11 - Classes de espalhamento	31
Quadro 2.12 - Classes de Compactação	31
Quadro 2.13 - Tolerância para classes pretendidas da consistência.....	32
Quadro 2.14 - Tolerância para valores pretendidos da consistência	33
Quadro 2.15 - Número de não-conformidades aceitável.....	33
Quadro 2.16 - Classes de resistência à compressão para betão de massa volumica normal e para betão pesado	35
Quadro 2.17 - Sem risco de corrosão ou ataque [45]	54
Quadro 2.18 - Corrosão induzida por carbonatação [45]	55
Quadro 2.19 - Corrosão induzida por cloretos não provenientes da água do mar [45]	55
Quadro 2.20 - Corrosão induzida por cloretos da água do mar [45]	56
Quadro 2.21 - Ataque por gelo/degelo [45].....	56
Quadro 2.22 - Limites da composição e da classe de resistência do betão sob acção do dióxido de carbono, para uma vida útil de 50 anos [45]	57
Quadro 2.23 - Limites da composição e da classe de resistência do betão sob acção dos cloretos, para uma vida útil de 50 anos [45]	57
Quadro 2.24 - Limites da composição e da classe de resistência do betão sob acção do gelo/degelo, para uma vida útil de 50 anos [45].....	58
Quadro 2.25 - Limites da composição e da classe de resistência à compressão do betão sob ataque químico, para uma vida útil de 50 anos [45].....	58
Quadro 2.26 - Composição do clínquer de cimentos resistentes aos sulfatos [45] ..	59
Quadro 2.27 - Combinações de classes de exposição	60
Quadro 2.28 - Propriedades, métodos e provetes de ensaio	62
Quadro 2.29 - Requisitos da inspecção de materiais e produtos	78
Quadro 2.30 - Requisitos do planeamento, exame e documentação [44]	81
Quadro 2.31 - Guia para a selecção das classes de inspecção [44]	82
Quadro 2.32 - Inspeção das operações anteriores à betonagem e da produção [44]	83

Quadro 2.33 - Inspeção do betão fresco [44].....	84
Quadro 2.34 - Inspeção das operações anteriores à betonagem [44].....	86
Quadro 2.35 - Inspeção da colocação e da compactação [44].....	87
Quadro 2.36 - Inspeção da protecção e cura [44]	89
Quadro 2.37 - Inspeção das operações pós betonagem [44].....	90
Quadro 2.38 - Inspeção de produtos prefabricados de betão [44]	91
Quadro 2.39 - Inspeção de produtos pré-fabricados de betão [44].....	91
3. CONTROLO DA CONFORMIDADE DO BETÃO	93
Quadro 3.1 - Informação relativa às normas	98
Quadro 3.2 - Sistemas de Avaliação da Conformidade para a Marcação CE	102
Quadro 3.3 - Classes de resistência à compressão para betão leve	106
Quadro 3.4 - valores de λ e K.....	110
Quadro 3.5 - Critério de confirmação para os membros da família	114
Quadro 3.6 - Factores para o desvio padrão	142
Quadro 3.7 - Controlo do betão para $f_{ck} \leq 34,5$ MPa	144
Quadro 3.8 - Controlo do betão $f_{ck} > 34,5$ MPa	144
Quadro 3.10 - Factores de modificação para o desvio padrão	147
Quadro 3.11 - Mínima resistência média exigida sem dados suficientes.....	147
Quadro 3.12 – Valores da constante z em função da probabilidade associada	149
Quadro 3.13 - Probabilidade de pelo menos 1 ensaio em n ensaios ser seleccionado e não atingir os critérios.....	155
Quadro 3.14 - Resultados dos ensaios de resistência à compressão.....	159
Quadro 3.15 - Análise dos dados dos betões.....	160
Quadro 3.16 - Dados para o exemplo CUSUM.....	164
Quadro 3.17 - Cálculos típicos do método CUSUM.....	173
Quadro 3.18 - Mínima resistência à compressão “in situ” característica para as classes de resistência à compressão da NP EN 206-1	189
Quadro 3.19 - Margem k associada a um pequeno número de resultados de ensaio ...	191
4. TRABALHO EXPERIMENTAL.....	201
Quadro 4.1 - Volumes de betão em não conformidade para diferentes classes, segundo a NP ENV 206 e a NP EN 206-1	223
Quadro 4.2 - Classificação do estaleiro com base nos provetes.....	262
Quadro 4.3 - Classificação do estaleiro com base nas carotes	262
Quadro 4.4 - Percentagem de resultados que verificam as normas NP EN 206-1 e NP ENV 206.....	269
Quadro 4.5 - Análise das carotes segundo a norma NP EN 13791	270
Quadro 4.6 - Análise das carotes segundo a norma ASTM C42 [61]	289
Quadro 4.7 - Verificação das normas nas obra.....	293
Quadro 4.8 - Constituição da família de composições e betão de referência.....	298
Quadro 4.9 - Verificação do Critério Família	299
Quadro 4.10 - Verificação das normas na central de produção.....	307
Quadro 4.11 - Resultados de Conformidade para a Consistência	310

Glossário

AQL - nível de qualidade aceitável (ver ISO 2859-1)

A/C - razão água/cimento

C0 a C4 - classes de consistência expressas pelo grau de compactabilidade

C../.. - classes de resistência à compressão do betão corrente e do betão pesado

CE - sigla que garante as características de desempenho apresentadas de um produto

CEM - tipo de cimento de acordo com a NP EN 197

c_A - número aceitável

c_D - número de resultados de ensaio que não satisfazem o valor característico

D - classe de massa volúmica do betão leve

D_{max} - máxima dimensão do agregado mais grosso

e - divisão de verificação do instrumento de pesagem

F - resultado do ensaio de arranque

F1 a F6 - classes de consistência expressas pelo diâmetro do espalhamento

$f_{ck,cyl}$ - resistência característica à compressão do betão para cilindros

$f_{ci,cyl}$ - resistência à compressão do betão para cilindros

$f_{ck,cube}$ - resistência característica à compressão do betão para cubos

$f_{ci,cube}$ - resistência à compressão do betão para cubos

f_{cm} - resistência média à compressão do betão

f_{ck} - resistência característica à compressão do betão

$f_{cm,j}$ - resistência média à compressão do betão com a idade de (j) dias

$f_{cm,men}$ - resistência média menor à compressão do betão

$f_{cm,alvo}$ - resistência média alvo à compressão do betão

f_{ci} - resultado individual do ensaio de resistência à compressão do betão

f_{tk} - resistência característica à tracção por compressão diametral do betão

f_{tm} - resistência média à tracção por compressão diametral do betão

f_{ti} - resultado individual do ensaio de resistência à tracção por compressão diametral do betão

$f_{ci, is}$ - resistência à compressão do betão in situ

$f_{ci, is, men}$ - resistência à compressão do betão in situ mais baixa

$f_{cm, is}$ - resistência média à compressão do betão in situ
 $f_{ck, is}$ - resistência característica à compressão do betão in situ
 $f_{ci, is, cube}$ - resistência à compressão do betão in situ para cubos
 $f_{ci, is, cyl}$ - resistência à compressão do betão in situ para cilindros
 $f_{ci, is, 1}$ - resultado do ensaio da resistência à compressão do betão in situ, estimado com base em métodos de ensaio indirectos após estabelecida uma relação específica com os ensaios de carotes (Alternativa 1)
 $f_{ci, is, F}$ - resultado do ensaio da resistência à compressão do betão in situ, estimado com base em ensaios de arranque calibrados com ensaios de carotes (Alternativa 2)
 $f_{ci, is, R}$ - resultado do ensaio da resistência à compressão do betão in situ, estimado com base em ensaios com esclerómetro calibrados com ensaios de carotes (Alternativa 2)
 $f_{ci, is, v}$ - resultado do ensaio da resistência à compressão do betão in situ, estimado com base em ensaios ultra-sónicos calibrados com ensaios de carotes (Alternativa 2)
 k_1 - coeficiente dependente do número de pares de ensaios
 k_2 - coeficiente dependente das disposições no local de utilização ou, na ausência destes, coeficiente com o valor de 1,48
 k_A - constante de aceitabilidade
 L - limite inferior especificado
 $LC../..$ - classes de resistência à compressão do betão leve
 $MA3$ - média de três ensaios
 n - número de resultados de ensaio
 \bar{R} - amplitude média alvo
 $S1$ a $S5$ - classes de consistência expressas pelo valor do abaixamento
 σ - desvio padrão de uma população
 σ_{alvo} - desvio padrão alvo
 s_n - desvio padrão de um subconjunto de n resultados
 U - limite superior especificado
 V - coeficiente de variação
 $V0$ a $V4$ - Classes de consistência expressas pelo tempo $V\hat{E}\hat{B}\hat{e}$
 \bar{x} - média aritmética da totalidade dos resultados do ensaio de autocontrolo no período de controlo

X0 - classe de exposição para a ausência de risco de corrosão ou ataque

XC - classes de exposição para o risco de corrosão induzida por carbonatação

XD - classes de exposição para o risco de corrosão induzida por cloretos não provenientes da água do mar

XS - classes de exposição para o risco de corrosão induzida por cloretos da água do mar

XF - classes de exposição para o ataque pelo gelo/degelo

XA - classes de exposição para o ataque químico

1. Introdução

1.1 - Considerações Gerais

O betão convencional é um material fabricado a partir da mistura de cimento, de agregados e de água, resultante da hidratação do cimento, desenvolvendo assim as suas propriedades. Para além destes componentes básicos, pode também conter adjuvantes e adições.

De modo a garantir o adequado desempenho, é de importância considerável a escolha dos constituintes do betão (cimento, agregados, água e adjuvantes), o seu fabrico e a sua aplicação (transporte, colocação, compactação, cura, protecção e descofragem). A composição do betão, isto é, as dosagens de cimento, agregados e água, adições e adjuvantes (quando utilizados) deve ser seleccionada de maneira a satisfazer os critérios de comportamento para o betão fresco e para o betão endurecido, incluindo a consistência, densidade, resistência, durabilidade e protecção das armaduras contra a corrosão. A composição do betão deve permitir obter uma trabalhabilidade compatível com o método de construção a utilizar. A máxima dimensão do agregado tem de ser escolhida de modo que o betão possa ser colocado e compactado à volta das armaduras sem que haja segregação.

Para produzir um betão durável, que proteja as armaduras contra a corrosão e suporte satisfatoriamente as condições ambientais e de serviço a que estará exposto durante o tempo de vida útil previsto, devem ser tomados em consideração alguns factores: escolha dos constituintes, escolha da composição, acções mecânicas, amassadura, colocação, compactação e a cura do betão. O controlo da qualidade dos diversos factores passou a ser regulamentado a partir de 23 de Agosto de 2007, pela NP EN 206-1 [1], através do Decreto-Lei n.º 301/2007, tendo até então sido regulamentado pela norma NP ENV 206 [2].

O não controlo da conformidade da resistência à compressão dos betões tem levado a um descuido da sua qualidade. O não cumprimento da norma NP EN 206-1 [1], associado à não qualidade e não conformidade dos betões, potenciam o surgimento de patologias, quer ao

nível da estrutura, quer, por via desse facto, ao nível dos revestimentos e alvenarias, podendo mesmo originar uma degradação precoce das construções em causa. Este não cumprimento da norma surge, frequentemente, por desconhecimento ou relaxamento, mas também, por vezes, com o intuito de poupar material, de forma a aumentar o lucro final.

1.2 - Objectivos

A fraca qualidade do betão é uma das razões deste trabalho e a de tentarmos perceber porque é que isto acontece, contribuindo com soluções para o mesmo. Assim, os principais objectivos foram os seguintes:

- Caracterização dos procedimentos adoptados com vista à produção de betão em algumas obras do Distrito de Braga;
- Determinação da classe de resistência do betão produzido nessas obras, combinando resultados e comparando com aquela exigida no projecto;
- Avaliação da resistência do betão “in situ” e comparação com a classe de resistência obtida nas obras em estudo;
- Comparação da metodologia adoptada para avaliação da conformidade/qualidade do betão em Portugal (Europa) com a dos Estados Unidos da América;
- Acompanhamento da monitorização de um período de produção de betão numa central de betão do Distrito de Braga;
- Aplicação do método CUSUM na central de produção de betão.

A selecção das obras a caracterizar foi efectuada de forma a abranger desde a construção de pequena dimensão (edifícios até 9 metros de altura), passando pela construção de média dimensão (edifícios de 9 a 28 metros de altura), até à construção de grande dimensão (edifícios com mais de 28 metros de altura), fazendo-se a distinção entre betão feito em obra e betão pronto. A recolha de vários provetes nessas obras permitiu realizar um estudo estatístico alargado. Utilizou-se um vasto número de provetes, acima do número mínimo exigido pela NP EN 206-1 [1], permitindo a realização de vários cálculos, com várias combinações entre eles, respeitando o número mínimo exigido pelas normas, verificando que probabilidades existem de estas serem respeitadas ou não.

Para a avaliação da resistência “in situ” foram utilizados alguns elementos betonados na altura da recolha dos provetes. Esses elementos foram deixados no local da obra, para posterior carotagem. Desta forma, pôde comparar-se a qualidade do betão “in situ” com a classe de resistência obtida de acordo com os procedimentos da NP EN 206-1 [1]. A resistência “in situ” é designada como “resistência real”, enquanto que a obtida com provetes moldados na altura da betonagem é referida como “resistência potencial”. O trabalho permitiu obter a relação entre estas duas resistências, em obras no Distrito de Braga.

Neste trabalho, é ainda apresentado o controlo da conformidade da resistência à compressão de betões aplicados no Norte de Portugal, para o intervalo de anos desde 1998 até 2008, ensaiados no Laboratório de Materiais de Construção da Universidade do Minho. O procedimento para o controlo da conformidade foi o referido na NP ENV 206 [2] e na NP EN 206-1 [1], comparando-as. Além desta verificação, calculou-se qual a distância a que se encontravam os betões em relação à tensão característica exigida, procurando-se, com este cálculo, constatar qual a gravidade do não cumprimento das Normas, consoante a distância entre a classe obtida e a classe exigida. Estudou-se também quanto à avaliação da resistência do betão, a evolução de empreiteiros que forneceram provetes de betão para serem ensaiados entre 1998 e 2008 no Laboratório de Materiais de Construção da Universidade do Minho.

1.3 - Organização da Tese

Após uma breve introdução ao que é proposto neste trabalho, no Capítulo 2 abordar-se-á, de uma forma geral, o betão, com o auxílio da norma NP EN 206-1 [1]. Depois de um enquadramento geral, são referidos os principais constituintes do betão: o cimento, os agregados, a água, os adjuvantes e as adições. Em seguida, é feita uma breve descrição das propriedades do betão e do seu fabrico. São caracterizadas, também, as operações de betonagem, bem como os procedimentos para o controlo da qualidade e é feita uma breve análise à execução de estruturas em betão.

No Capítulo 3 começa-se por caracterizar a conformidade do produto e a marcação CE e foram analisados e comparados os novos procedimentos para controlo da qualidade do betão previstos na norma NP EN 206-1 [1], relativamente aos da NP ENV 206 [2]. Assim, a preparação da norma NP EN 206-1 [1] deu lugar à revisão de alguns pontos da norma NP ENV 206 [2]. A nova norma aponta para uma extensão do sistema de classificação do betão, principalmente no que respeita às condições ambientais. São ainda analisadas, neste capítulo, as normas Americanas ACI 318-02 [3] e a ACI 214R-02 [4] e é feita uma comparação com a NP EN 206-1 [1].

O Capítulo 4 descreve o trabalho realizado na análise dos resultados de algumas obras de empresas que colaboraram no estudo ao longo do triénio 2006, 2007, 2008, ao abrigo da norma NP EN 206-1 [1]. Faz-se ainda o mesmo cálculo com as normas Americanas. Analisaram-se os resultados dos ensaios de resistência à compressão, realizados no Laboratório de Materiais de Construção da Universidade do Minho entre os anos de 1998 e 2008, segundo as normas NP ENV 206 [2] e NP EN 206-1 [1], comparando-as. É feita ainda uma análise ao controlo da conformidade do betão numa central de produção, também do Distrito de Braga, aplicando-se o método CUSUM.

Finalmente no Capítulo 5, com base nos resultados e a respectiva análise, expõem-se as principais conclusões do trabalho desenvolvido.

2. Produção e Colocação em Obra de Betão: Enquadramento Normativo

2.1 - O Betão

Neste trabalho começar-se-á por perceber o que é o betão, quais os seus constituintes e quais os modos de fabrico, transporte e aplicação. Assim, pode-se dizer que o betão é legitimamente considerado o material de construção mais versátil. Utiliza materiais correntes, a tecnologia de fabrico é simples e requer consumos energéticos baixos. Este material surgiu da necessidade de ultrapassar os grandes blocos de pedras que formavam as mais diversas construções, permitindo execuções mais moldáveis aos interesses dos construtores.

2.1.1 - Generalidades

De uma forma muito genérica, podemos definir o betão como o resultado da mistura de cimento, água e agregados, onde estão agrupados a areia, a brita ou o godo, obtendo-se um material mais ou menos homogéneo e plástico [5].

O betão apresenta certas características gerais mas, no entanto, muitas vezes é conveniente conferir-lhe determinadas características como, por exemplo, uma maior impermeabilidade, fluidez ou velocidade de obtenção das resistências mecânicas, possíveis com adição de pequenas quantidades de adjuvantes que serão os responsáveis pela obtenção destas e outras características do betão. Assim sendo, hoje em dia, podem considerar-se os adjuvantes como o quarto constituinte do betão.

Um bom betão reside num compromisso entre a resistência e a permeabilidade por um lado, e a trabalhabilidade por outro. Assim, é preciso conhecer alguns elementos relacionados com a natureza e o tipo de obra, meios de colocação e compactação do betão, armaduras e moldes, exigências do caderno de encargos relativas à classe e tipo de betão desejado, bem como as condições ambientais previstas [6].

De acordo com a NP EN 206-1 [1], todo o betão deve ser sujeito ao controlo da produção, sob a responsabilidade do produtor. O controlo da produção compreende todas as medidas necessárias para manter as propriedades do betão em conformidade com os requisitos especificados. Relativamente aos constituintes do betão, é necessário atender à sua selecção, tendo em conta os requisitos exigidos.

Os materiais constituintes não devem conter substâncias nocivas em quantidades que possam ser prejudiciais à durabilidade do betão ou causar corrosão das armaduras e devem ser adequados ao uso previsto para o betão. Quando a aptidão geral de um material como constituinte do betão se encontrar estabelecida, tal não implica, obrigatoriamente, aptidão em todas as situações e em todas as composições de betão.

2.1.2 - Constituintes do betão

O betão é uma pedra artificial resultante da mistura entre uma substância ligante (cimento) e um material agregado, portador de boas características de resistência mecânica. É ainda necessária a adição de água para promover a hidratação do cimento e conferir ao betão a trabalhabilidade desejada. Com vista à obtenção de melhorias, ao nível de algumas das suas propriedades, é usual a inclusão de outras substâncias químicas à mistura, designadas de adjuvantes. Sendo as suas propriedades dependentes de diversos factores, assumem especial relevo as propriedades dos agregados envolvidos (geométricas, físicas, mecânicas e químicas), o tipo de cimento adoptado e as diversas proporções entre os elementos, razão água/cimento (A/C), dosagens de água e de cimento [7].

Basicamente, e conforme a NP EN 206-1 [1], pode considerar-se que os betões são de dois tipos: betões caracterizados pela resistência mecânica e betões caracterizados pela durabilidade em meios agressivos. Nos primeiros, apenas se tem em consideração a sua resistência à compressão. Quando o betão se encontra em contacto com meios agressivos como, por exemplo, o caso da água do mar, interessa utilizar um betão resistente a estes meios.

2.1.2.1 - Cimento

O cimento é, sem dúvida, o constituinte mais importante do betão. A sua escolha deve ser feita em função da sua posterior utilização, ou seja, se o seu uso for em betão simples, em estruturas de betão armado ou em estruturas de betão pré-esforçado. Deve ter-se ainda em conta o desenvolvimento de calor pelo betão na estrutura, as dimensões desta, bem como as condições ambientais a que esta se encontra exposta.

O cimento é um material inorgânico e finamente moído que, quando misturado com água, forma uma pasta que faz presa e endurece, em virtude das reacções e processos de hidratação e que, depois de endurecer, mantém a sua resistência e estabilidade mesmo debaixo de água. Quando apropriadamente doseado e misturado com agregado e água, deve permitir a produção de betão ou argamassa que conserva a sua trabalhabilidade durante um intervalo de tempo suficiente e, depois de períodos definidos, deve atingir níveis de resistência especificados e possuir também estabilidade de volume, a longo prazo.

O endurecimento hidráulico de cimento é, fundamentalmente, devido à hidratação dos silicatos de cálcio, embora outros compostos químicos, tais como os aluminatos, possam também participar no processo de endurecimento (Figuras 2.1 a 2.3). A soma das percentagens do óxido de cálcio reactivo (CaO) e do dióxido de sílico reactivo (SiO₂) no cimento, deve ser pelo menos de 50 %. Refira-se que os cimentos compõem-se de diferentes materiais e têm uma composição estatisticamente homogénea que resulta dos processos de produção e de manuseamento do material de qualidade assegurada [8]. O controlo de produção da fábrica é o controlo interno permanente da produção de cimento efectuado pelo fabricante e consiste no controlo interno da qualidade, complementado pelo autocontrolo de amostras de cimento colhidas no ponto de entrega [9].

Os cimentos mais utilizados correntemente no fabrico de betão são o cimento Portland (CEM I) e o cimento Portland composto (CEM II). O clínquer do cimento Portland (Figura 2.4) resulta da sinterização de uma mistura rigorosamente especificada de matérias-primas

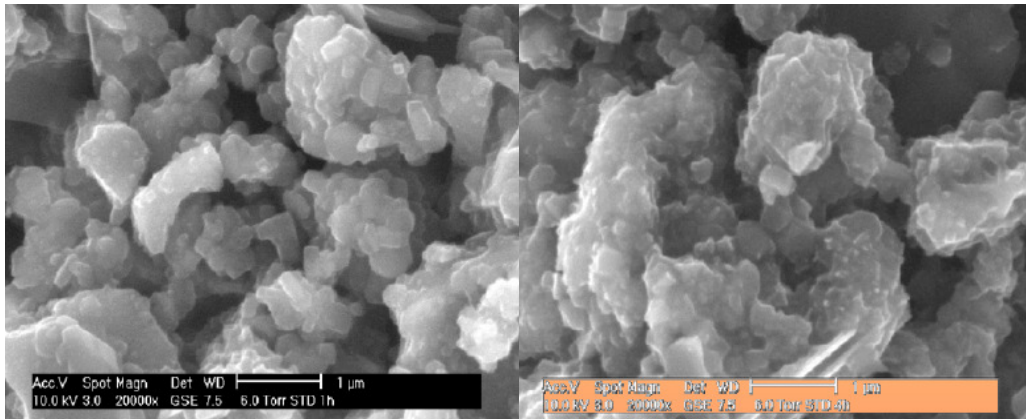


Figura 2.1 - Grânulos de cimento Portland – 1 hora e 4 horas de hidratação [10]

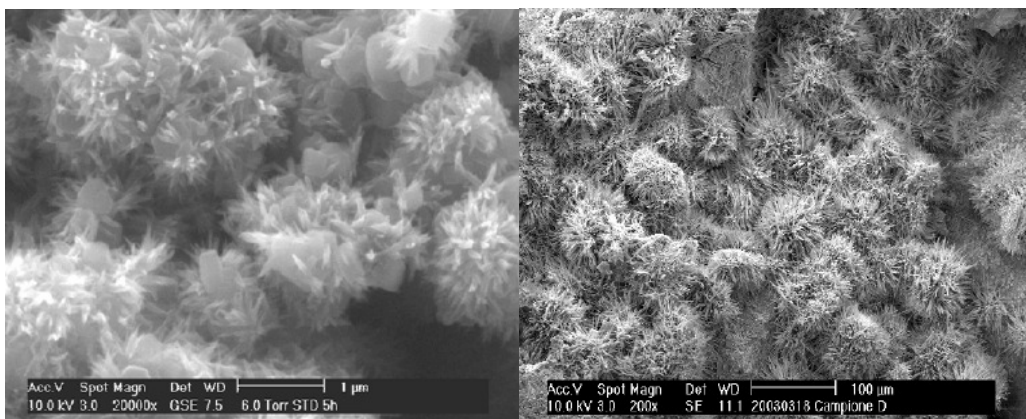


Figura 2.2 - Grânulos de cimento Portland – 5 horas e 18 horas de hidratação [10]

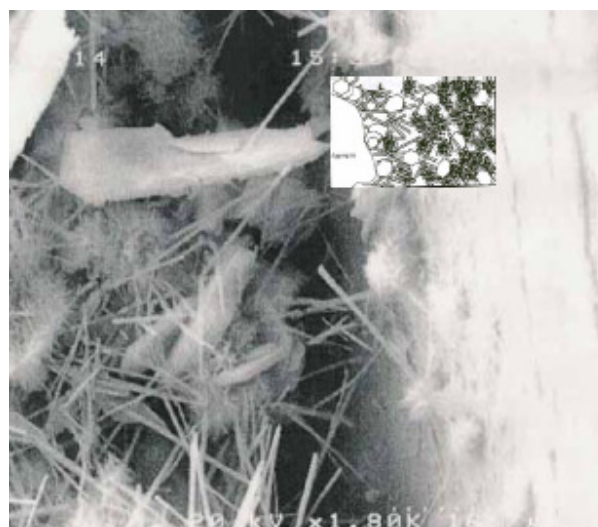


Figura 2.3 - Zona de interface pasta-polímero [10]

(farinha ou pasta) contendo elementos, geralmente expressos em óxidos, CaO , SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 e pequenas quantidades de outros materiais. A farinha, ou a pasta, finamente dividida, está intimamente misturada e é, por isso, homogénea. É sabido que este tipo de cimento, quando exposto a ambientes agressivos, pode sofrer determinadas reacções que comprometem a sua durabilidade. Neste caso, deve usar-se, cimento de alto forno (CEM III), ou pozolânico (CEM IV), resistentes a meios agressivos. A escória granulada de alto forno (Figuras 2.5) resulta do arrefecimento rápido de uma escória fundida de composição apropriada, como a obtida da fusão do minério de ferro num alto forno, contendo pelo menos dois terços em massa de escória vítrea e possuindo propriedades hidráulicas, quando activada apropriadamente. Os materiais pozolânicos são substâncias naturais de composição siliciosa ou silico-aluminosa ou em combinação de ambas. Além destes, temos ainda as cinzas volantes (Figuras 2.6) [10].

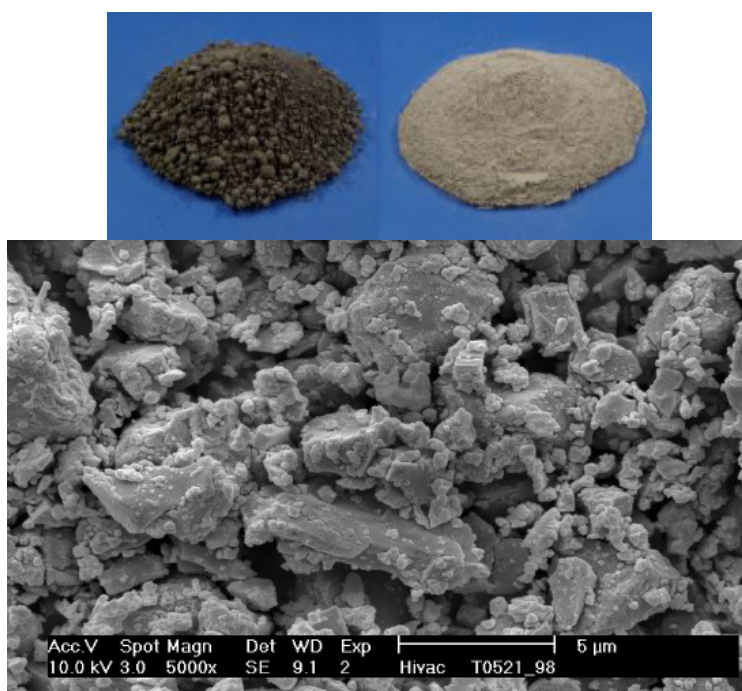


Figura 2.4 - Clinquer de Cimento Portland [10]

A NP EN 197-1 [8] inclui, para os cimentos, os requisitos mecânicos, físicos, químicos e de durabilidade. Quanto às características mecânicas, estão previstas três classes de resistência de referência: classe 32,5, classe 42,5 e classe 52,5 (Quadro 2.1). A resistência de

referência de um cimento é a resistência à compressão aos 28 dias, determinada de acordo com a NP EN 196-1 [11].

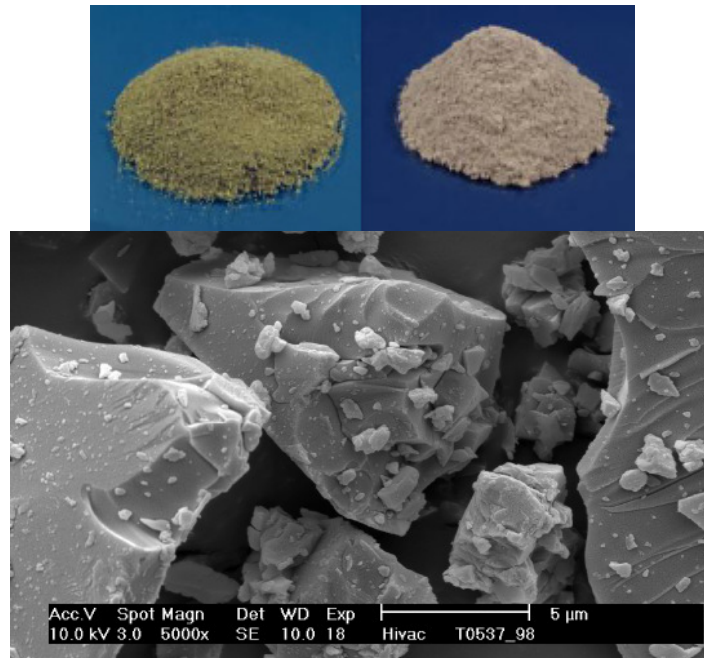


Figura 2.5 - Escória de alto forno [10]

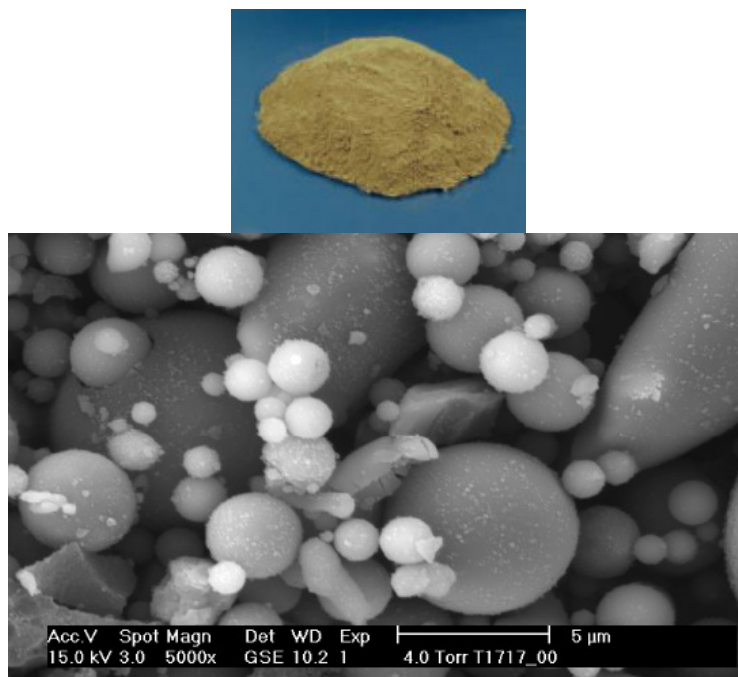


Figura 2.6 - Cinzas volantes [10]

Quadro 2.1 - Requisitos mecânicos expressos como valores característicos especificados

Classe de resistência	Resistência à compressão MPa			
	Resistência aos primeiros dias		Resistência de referência	
	2 dias	7 dias	28 dias	
32,5 N	-	$\geq 16,0$	$\geq 32,5$	$\leq 52,5$
32,5 R	$\geq 10,0$	-		
42,5 N	$\geq 10,0$	-	$\geq 42,5$	$\leq 62,5$
42,5 R	$\geq 20,0$	-		
52,5 N	$\geq 20,0$	-	$\geq 52,5$	-
52,5 R	$\geq 30,0$	-		

A resistência exigida a cada classe vai aumentando na relação directa dos números que definem as classes. Consideram-se duas classes de resistência aos primeiros dias, uma classe com resistência normal, indicada por N, e uma classe com resistência elevada, indicada por R.

Podemos dizer que os cimentos das classes 32,5 e 42,5 são adequados para obras correntes. Os cimentos da classe 52,5 são adequados para obras onde se exige elevada resistência mecânica, pontes de grande vão, por exemplo, e na prefabricação, porque atingem, em menos tempo, resistências mecânicas mais elevadas que as das outras classes.

Quanto aos requisitos físicos, temos o tempo de início de presa e a expansibilidade, determinados de acordo com a NP EN 196-3 [12]. Para o tempo de início de presa, os requisitos são especificados como valores característicos não inferiores a 75 min, 60 min e 45 min, respectivamente para os cimentos das classes de resistência 32,5, 42,5 e 52,5. A expansibilidade tem como requisito um valor característico não superior a 10 mm, para todas as classes de resistência. Os requisitos químicos e os de durabilidade estão indicados na NP EN 197-1 [8]. Depois de se estabelecerem os requisitos, torna-se necessário avaliar a conformidade na base de ensaios pontuais. As propriedades, os métodos de ensaio e as frequências mínimas de ensaio para o ensaio de autocontrolo do fabricante são especificados no Quadro 2.2.

Quadro 2.2 - Propriedades, métodos de ensaio e frequências mínimas de ensaio para o ensaio de autocontrolo do fabricante e procedimento de avaliação estatística

Propriedade	Cimentos a ensaiar	Métodos de ensaio ^{a) b)}	Ensaio de autocontrolo			
			Frequência mínima de ensaio		Procedimento de avaliação estatística	
			Situação de rotina	Período inicial para um novo tipo de cimento	Variáveis ^{e)}	Atributos
1	2	3	4	5	6	7
Resistência aos primeiros dias Resistência de referência	Todos	NP EN 196-1	2/Semana	4/Semana	x	
Tempo de início de presa	Todos	NP EN 196-3	2/Semana	4/Semana		x ^{f)}
Expansibilidade	Todos	NP EN 196-3	1/Semana	4/Semana		x
Perda ao fogo	CEM I, CEM III	NP EN 196-2	2/Mês ^{c)}	1/Semana		x ^{f)}
Resíduo insolúvel	CEM I, CEM III	NP EN 196-2	2/Mês ^{c)}	1/Semana		x ^{f)}
Teor de sulfatos	Todos	NP EN 196-2	2/Semana	4/Semana		x ^{f)}
Teor de cloretos	Todos	NP EN 196-2	2/Mês ^{c)}	1/Semana		x ^{f)}
Pozolanicidade	CEM IV	NP EN 196-5	2/Mês	1/Semana		x
Composição	Todos	- ^{d)}	1/Mês	1/Semana		

a) Onde for permitido na parte aplicável da NP EN 196, podem ser usados outros métodos, para além dos indicados, na condição de conduzirem a resultados correlacionados e equivalentes aos obtidos pelo método de referência.

b) Os métodos usados na colheita e preparação de amostras devem estar de acordo com a NP EN 196-7.

c) Quando num período de 12 meses nenhum dos resultados de ensaio exceder 50% do valor característico, a frequência pode ser reduzida para um ensaio por mês.

d) Método apropriado de ensaio escolhido pelo fabricante.

e) Se os dados seguirem uma distribuição normal, então o método de avaliação pode ser escolhido caso a caso.

f) Se durante o período de controlo o número de amostras for pelo menos uma por semana, a avaliação pode ser feita por variáveis.

O cimento está conforme com os requisitos para as propriedades mecânicas, físicas e químicas se forem satisfeitos todos os critérios de conformidade especificados na NP EN 197-1 [8]. Estão previstos critérios estatísticos e para resultados individuais.

A conformidade deve ser formulada em termos de um critério estatístico na base:

- dos valores característicos especificados para as propriedades;
- do percentil P_k da distribuição normal correspondente ao valor característico (percentagem aceitável de defeitos) – 5 ou 10 %, dependendo da propriedade em análise;
- da probabilidade de aceitação de um lote não conforme (risco do consumidor) CR – 5 %.

A conformidade com os requisitos deve ser verificada por variáveis ou por atributos. O período de controlo deve ser de 12 meses. Além do controlo estatístico, a conformidade com os requisitos da NP EN 197-1 [8] obriga a que se verifique se cada resultado de ensaio respeita os valores limite para os resultados individuais especificados. Pelo menos uma vez por mês, a composição do cimento deve ser verificada pelo fabricante, usando, como regra, uma amostra pontual colhida no ponto de entrega do cimento. A composição do cimento deve obedecer aos requisitos especificados no Quadro 2.3. A NP EN 197-1 [8] estabelece ainda requisitos e critérios de conformidade para as propriedades dos constituintes do cimento.

Para a inspeção por variáveis, considera-se que os resultados de ensaio seguem uma distribuição normal. A conformidade é verificada quando as seguintes inequações forem satisfeitas:

$$\bar{x} - k_A s_n \geq L \quad (2.1)$$

e

$$\bar{x} + k_A s_n \leq U \quad (2.2)$$

onde:

\bar{x} é a média aritmética da totalidade dos resultados do ensaio de autocontrolo no período de controlo;

s_n é o desvio padrão da totalidade dos resultados do ensaio de autocontrolo no período de controlo;

k_A é a constante de aceitabilidade;

L é o limite inferior especificado;

U é o limite superior especificado.

Quadro 2.3 - Valores limite para resultados individuais

Propriedade		Valores limite para resultados individuais					
		Classe de resistência					
		32,5,N	32,5R	42,5N	42,5R	52,5N	52,5R
Resistência aos primeiros dias (MPa) valor limite inferior	2 dias	-	8,0	8,0	18,0	18,0	28,0
	7 dias	14,0	-	-	-	-	-
Resistência de referência (MPa) valor limite inferior	28 dias	30,0	30,0	40,0	40,0	50,0	50,0
Tempo de início de presa (min) valor limite inferior		60		50		40	
Expansibilidade (mm) valor limite superior		10					
Teor de sulfatos (em %SO ₃) valor limite superior	CEM I CEM II ^{a)} CEM IV CEM V	4,0			4,5		
	CEM III/A CEM III/B	4,5					
	CEM III/C	5,0					
Teor de cloretos (%) ^{b)} valor limite superior		0,10 ^{c)}					
Pozolanicidade		Positivo aos 15 dias					

a) O cimento do tipo CEM II/B-T pode conter até 5,0% de SO₃ em todas as classes de resistência.

b) O cimento do tipo CEM III pode conter mais do que 0,10% de cloretos, mas neste caso o teor máximo de cloretos deve ser declarado.

c) Para aplicações em betão pré-esforçado, os cimentos podem ser produzidos para satisfazer um valor inferior. Se assim for, o valor de 0,10% deve ser substituído por este valor inferior, o qual deve ser mencionado na guia de remessa.

Para a fixação do conjunto de resultados do ensaio considera-se um resultado por amostra.

A constante de aceitabilidade (k_A) depende do percentil (P_k) no qual é baseado o valor

característico, da probabilidade de aceitação admissível (CR) e do número de resultados de ensaio (n). Os valores de k_A figuram no Quadro 2.4.

Quadro 2.4 - Constante de aceitabilidade k_A

Número de resultados de ensaio n	k_A ^{a)}	
	Para $P_k=5\%$	Para $P_k=10\%$
	(resistências aos primeiros dias e de referência, limite inferior)	(outras propriedades)
20 a 21	2,40	1,93
22 a 23	2,35	1,89
24 a 25	2,31	1,85
26 a 27	2,27	1,82
28 a 29	2,24	1,80
30 a 34	2,22	1,78
35 a 39	2,17	1,73
40 a 44	2,13	1,70
45 a 49	2,09	1,67
50 a 59	2,07	1,65
60 a 69	2,02	1,61
70 a 79	1,99	1,58
80 a 89	1,97	1,56
90 a 99	1,94	1,54
100 a 149	1,93	1,53
150 a 199	1,87	1,48
200 a 299	1,84	1,45
300 a 399	1,80	1,42
> 400	1,78	1,40

NOTA: Os valores indicados neste quadro são válidos para CR = 5%

^{a)} Também podem ser usados valores válidos de k_A para valores intermédios de n.

Na inspeção por atributos a conformidade é verificada quando a seguinte inequação é satisfeita:

$$c_D \leq c_A \quad (3.3)$$

onde:

c_D é o número de resultados de ensaio que não satisfazem o valor característico;

c_A é o número aceitável.

O valor de c_A depende do percentil P_k no qual se baseou o valor característico, da probabilidade de aceitação admissível CR e do número (n) de resultados de ensaio. Os valores de c_A figuram no Quadro 2.5.

O sistema de comprovação da conformidade para todos os cimentos previstos na NP EN 197-1 [8] é o 1+, de acordo com a Decisão da Comissão de 14 de Julho de 1997 (97/555/CE), publicada no Jornal Oficial das Comunidades Europeias e indicada no Anexo 3 do Mandato para a família do produto “Cimentos”. Os usos previstos são a preparação de betão, argamassa, caldas de injeção e outras misturas para a construção e para o fabrico de produtos de construção.

Quadro 2.5 - Valores de c_A

Número de resultados de ensaio n ^{a)}	c_A para $P_k=10\%$
20 a 39	0
40 a 54	1
55 a 69	2
70 a 84	3
85 a 99	4
100 a 109	5
110 a 123	6
124 a 136	7

NOTA: Os valores apresentados neste quadro são válidos para CR=5%

a) Se o número de resultados de ensaio for $n < 20$ (para $P_k=10\%$) não se pode utilizar um critério estatístico de conformidade. Apesar disso, nos casos em que $n < 20$ deve ser utilizado um critério com $c_A=0$.

O sistema de comprovação 1+ define, como critério para a marcação CE, a declaração de conformidade pelo fabricante, com base num certificado de conformidade do produto. O fabricante terá que efectuar o controlo interno da produção e o ensaio de amostras, segundo um programa prescrito. A certificação do produto terá que ser efectuada por um organismo

de certificação com base em ensaios iniciais de tipo, inspecção inicial do controlo interno da produção, acompanhamento permanente do controlo interno da produção e ensaio aleatório de amostras.

A NP EN 197-2 [9] define o plano para a avaliação da conformidade dos cimentos com as normas de especificação de produto correspondentes, incluindo a certificação de conformidade por um organismo de certificação. A norma estabelece regras técnicas para o controlo da produção da fábrica, efectuado pelo fabricante, incluindo o ensaio de autocontrolo de amostras e para as tarefas do organismo de certificação. Estabelece, também, regras para as acções a seguir em caso de não conformidade, o procedimento para a certificação de conformidade e os requisitos para os centros de distribuição. Trata-se de uma norma importante que complementa a NP EN 197-1 [8].

Outro aspecto importante relativamente ao cimento a utilizar no fabrico do betão é o seu armazenamento. O cimento pode chegar à obra em sacos (40 kg ou outros) ou a granel. No primeiro caso, o armazenamento deve fazer-se em estrados situados a um nível superior ao do solo, em pilhas inferiores a dois metros, para evitar a compactação que poderia levar o cimento a um princípio de presa. Devem cobrir-se os sacos de cimento com oleados, de modo a evitar a hidratação, quando expostos ao ar, causadora de nódulos que diminuem a qualidade do cimento. Quando recebido em granel é depositado em silos estanques. O consumo deve efectuar-se por ordem de chegada [13].

2.1.2.2 - Agregados

Os agregados constituem o esqueleto granular do betão e podem ser usados sob a forma de britas, godos e areias. A Norma NP EN 206-1 [1] remete-nos para as Normas NP EN 12620 [14], nos agregados normais e pesados e para a NP EN 13055-1 [15], nos agregados leves. Os materiais agregados devem ser escolhidos de forma criteriosa e depois proporcioná-los e misturá-los em quantidades a determinar, de modo a obter um betão com as características desejadas [16].

O material graúdo pode ter dificuldades em passar as armaduras e assim sendo, pode suceder que o betão não preencha totalmente o molde, proporcionando a formação de ninhos de brita. Como facilmente se compreende, a dimensão do material agregado não é indiferente (Figura 2.7). A sua dimensão máxima deve ser controlada em função da aplicação que o betão vai ter. Deve ser escolhida de modo a que o betão possa ser colocado e compactado à volta das armaduras, sem que haja qualquer risco de segregação. A granulometria dos agregados deve ser de preferência contínua, sem nenhum patamar de descontinuidade.

Tem-se utilizado a regra de D_{max} ser inferior a 1,2 vezes o recobrimento nominal ou o espaçamento entre armaduras, tomando o que for menor.

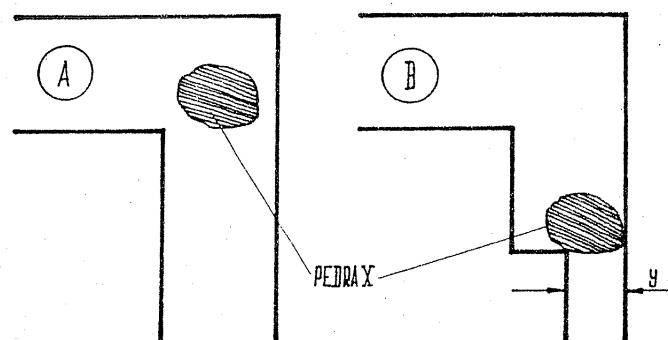


Figura 2.7 - Máxima dimensão do material agregado [16]

Para além de requisitos relativos à dimensão máxima dos materiais agregados, outras características terão de ser atendidas, por exemplo a sua forma. Partículas com formas alongadas vão ter tendência a partir sob acção de esforços concentrados. Relativamente à natureza da superfície, o material agregado pode ser rolado ou britado. Se, por um lado, a utilização de materiais rolados, naturais, implica uma aderência menor, face aos materiais britados, por outro, os primeiros exigem uma menor quantidade de água na amassadura. Assim sendo, tendo em consideração estes dois parâmetros (volume de água e aderência), em geral, chega-se à conclusão que é praticamente indiferente utilizar materiais rolados ou artificiais britados porque, não intervindo outros factores, as resistências do betão não variam muito. No entanto, há que referir que os materiais naturais, como oferecem menor

resistência ao atrito, favorecem a trabalhabilidade, mas têm o inconveniente de poderem contribuir para a segregação [16].

Devem usar-se rochas sãs e duras, não alteradas pela intempérie, evitando-se as rochas muito brandas ou porosas, ou com xistosidade acentuada, assim como xistos, arenitos pouco duros, rochas com argila ou ricas em mica. Interessa que os materiais a empregar sejam limpos, que não venham revestidos de pó ou de argila pois, neste caso, a resistência à compressão e principalmente à tracção e flexão, viriam diminuídas [16].

Em primeiro lugar porque o resíduo de pó gasta mais água. E em segundo lugar porque sendo as partículas muito finas, a ligação da pasta de cimento ao material agregado pode ser impedida. No entanto, verifica-se, na prática, o uso de materiais com uma percentagem de finos, embora não excessiva. Isto porque, caso se proceda à lavagem do material, se verifica uma diminuição da compactidade e conseqüentemente a resistência à compressão também diminui, dado que houve um aumento do número de vazios no agregado. As partículas finas são sempre prejudiciais, no que se refere à resistência à tracção. No Norte de Portugal, os agregados são geralmente de origem granítica.

Relativamente ao teor de finos, a especificação LNEC E 467 [17] de 2006 estabelece os requisitos de conformidade para agregados grossos, agregados naturais 0/8, agregados de granulometria extensa e agregados finos. O requisito de conformidade é indicado através da categoria f . Por exemplo, para agregados grossos exige-se categoria f_4 (percentagem de passados no peneiro 0,063 mm, em massa, não superior a 4 %). A qualidade dos finos tem que ser verificada.

As resistências mecânicas das rochas donde são extraídos os agregados, são necessariamente maiores que a resistência que o betão pode oferecer. Por este motivo, a especificação LNEC E 467 [17] apenas apresenta a resistência à compressão da rocha como requisito para betão de alta resistência (Quadro 2.6).

Normalmente ensaiam-se os materiais britados ao esmagamento e faz-se o ensaio de fragmentação na máquina de Los Angeles. Estes ensaios distintos dão-nos indicações quanto à qualidade da pedra. A especificação LNEC antes mencionada, indica que a percentagem da fracção fina não deve exceder 45% no ensaio de esmagamento, nem 50% no ensaio de fragmentação de Los Angeles (categoria LA₅₀).

Quadro 2.6 - Propriedades adicionais dos agregados para certas aplicações; Propriedades não estabelecidas na NP EN 12620

Propriedades	Norma de ensaio	Requisito	Âmbito	Aplicações
Resistência à compressão da rocha (1)	NP EN 1926	≥ 50 MPa	Agregados grossos	Betão de alta resistência
Resistência ao esmagamento (1)	NP 1039	$\leq 45\%$	Agregados grossos	Betão de alta resistência
Teor de partículas friáveis	NP 1380	$\leq 1,0\%$	Agregados finos e naturais 0/8	Betão de alta resistência
		$\leq 0,25\%$	Agregados grossos	
Teor de partículas moles	LNEC E 222	$\leq 5,0\%$	Agregados grossos	Betão de alta resistência
Teor de álcalis	NP 1382	Valor a determinar	Todos os agregados	Betão com agregados reactivos
Reactividade aos sulfatos	LNEC E 251	Bom comportamento	Agregados contendo feldspatos	Betão em contacto com sulfatos

¹ Ambas as determinações pretendem avaliar a resistência mecânica dos agregados

No caso de agregados provenientes do mar, teremos de contar com o cloreto de sódio e com o sulfato de magnésio que, além do aparecimento de eflorescências, portanto manchas salinas, vá diminuir a velocidade de presa do cimento. No betão pré-esforçado, em que os cabos estão em contacto com o betão, a presença do ião cloro produz corrosão nos varões de aço. Esta corrosão é de maior amplitude devido às elevadas tensões a que os varões estão submetidos. A corrosão dos varões, fortemente traccionados, põe em causa, como é

evidente, a segurança das estruturas. Portanto, neste caso, as areias, mesmo com pequenas quantidades de sais, são de rejeitar.

Temos, também, que garantir a durabilidade dos materiais agregados, que pode estar comprometida por reacção química destes com os constituintes do cimento ou com a água em contacto, dando lugar a expansões que podem provocar a ruína do betão. A especificação LNEC E461 [18] apresenta a metodologia para avaliação da reactividade dos agregados para betão, relativamente à reacção álcalis-sílica (Figura 2.8).

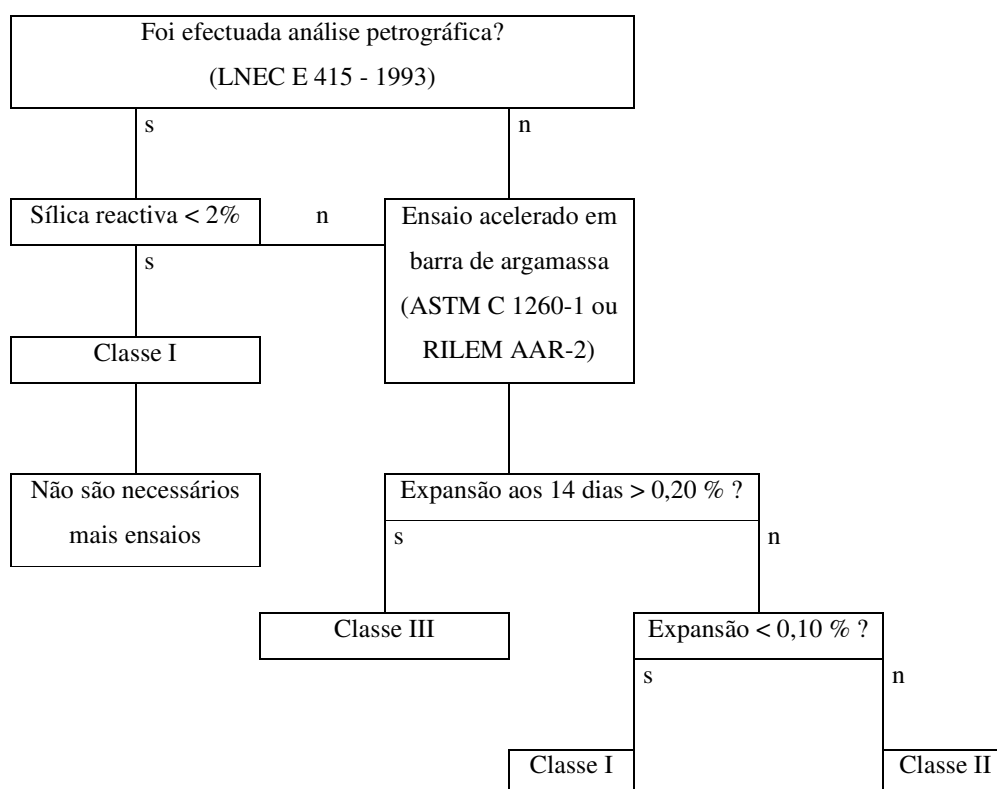


Figura 2.8 - Metodologia para avaliação da reactividade dos agregados

O produtor dos agregados deve declarar a classe de reactividade dos agregados escolhendo a classificação aplicável, como a seguir se indica:

- Classe I – agregado não reactivo
- Classe II – agregado potencialmente reactivo
- Classe III – agregado potencialmente reactivo

No Quadro 2.7 indicam-se os tipos de minerais e de rochas potencialmente reactivos aos álcalis, em agregados existentes em Portugal, complementando-se a informação no Quadro 2.8 com as rochas e minerais potencialmente fornecedores de álcalis.

Quadro 2.7 - Tipos de rochas e minerais potencialmente reactivos aos álcalis

Minerais	Rochas	Principais minerais reactivos nas rochas
Opala	Jaspes, Liditos, Ftanitos, Diatomitos, Xistos siliciosos, Filitos	Opala, calcedónia, cherte, quartzo tectonizado
Calcedónia	Grauvacóides	Quartzo tectonizado, chete
Cherte	Corneanas	
Quartzo tectonizado	Quartzitos	
Tridimite	Granitoídes	
Cristobalite	Vulcanitos (riolito, dacito, andesito, basalto)	Sílica vítrea
Obsidiana	Calcários	Inclusões siliciosas (cherte)
	Dolomitos	

Quadro 2.8 - Tipos de minerais e rochas potencialmente fornecedores de álcalis

Minerais fornecedores de:		Rochas
potássio	sódio	
Sanidina		Granitóides
Ortoclase	Albite	Sieníticas
Microclina	Oligoclase	Traquíticas
Leucite	Nefelina	Corneanas
Biotite	Sodalite	Feldspáticas
Moscovite		Leptiníticas
		Arcólicas
		Grauvacóides

Outras vezes os agregados suportam mal os esforços provocados pela congelação da água. Estão aqui incluídos todos os agregados provenientes das rochas geladiças, como o calcário e o grés. De acordo com a especificação LNEC E467 [17], a resistência ao gelo-degelo apenas se determina para betão em estruturas sujeitas ao gelo-degelo. Estão previstos dois

métodos de ensaio alternativos: resistência ao gelo-degelo e resistência ao sulfato de magnésio. Os requisitos são expressos em perdas, em massa. Sendo para o gelo-degelo não superior a 4% (F₄) e para o sulfato de magnésio não superior a 35% (MS₃₅).

Os sistemas de atestação da conformidade para os agregados e fíleres para betão, argamassa e caldas de injeção, previstos na NP EN 12620 [14], variam de acordo com os requisitos de segurança. Foi estabelecido o sistema de atestação da conformidade 2+ para utilizações com requisitos de segurança elevados e o sistema 4 para utilizações sem requisitos de segurança elevados.

O sistema de atestação da conformidade 2+ define, como critério para a marcação CE, a declaração de conformidade pelo fabricante, com base num certificado de conformidade do controlo interno de produção. O fabricante terá de efectuar o controlo interno da produção e o ensaio de amostras, segundo um programa prescrito. A certificação do controlo interno de produção terá que ser efectuada com base numa inspecção inicial e no acompanhamento permanente desse controlo, por parte do Organismo Notificado.

O sistema de atestação da conformidade 4 define como base para a marcação CE a declaração de conformidade pelo fabricante. Este terá de efectuar o controlo interno da produção e ensaios iniciais de tipo.

2.1.2.3 - Água

A água de amassadura é a quantidade presente durante a amassadura do betão, incluindo a que é devida à humidade própria dos agregados. As principais funções da água no betão são: reagir quimicamente com o cimento, hidratando-o, de forma a este ganhar presa e endurecer, aglomerando os agregados e assegurar a trabalhabilidade do betão, isto é, permitir que a mistura seja amassada facilmente e colocada em obra, sem eminência de segregação.

No que concerne à água de amassadura, a NP EN 206-1 [1] remete para a NP EN 1008 [19]. A água de amassadura deve satisfazer as exigências das normas nacionais ou das regulamentações em vigor no local de aplicação do betão. A água não deve conter constituintes prejudiciais em quantidades tais que possam afectar a presa, o endurecimento e a durabilidade do betão. De um modo geral, toda a água potável das redes de abastecimento público pode ser utilizada na amassadura do betão, sem qualquer preocupação adicional. As águas do mar normalmente são adequadas para o fabrico do betão simples, mas devem ser analisadas previamente, se usadas em betão armado ou pré-esforçado. As águas superficiais, subterrâneas e as águas residuais industriais são consideradas adequadas, mas devem ser analisadas antes da sua utilização. As restantes, tais como águas de resíduos industriais e domésticos, águas ácidas com pH abaixo de quatro, são de rejeitar, por conterem matérias dissolvidas ou em suspensão. Sempre que haja dúvida acerca do estado da água a utilizar na amassadura do betão dispõe-se de uma série de ensaios comparativos, análogos aos desenvolvidos nos agregados que têm por base uma análise comparativa com valores padrão pré-estabelecidos.

Existem vários tipos de água: água potável, água residual doméstica, água recuperada dos processos da indústria do betão, água combinada, água subterrânea, água superficial natural ou água residual industrial e água do mar ou salobra. A água potável pode ser usada no fabrico de betão. A água residual doméstica não. Quanto à água subterrânea, a água superficial natural ou a água residual industrial, torna-se necessária uma avaliação preliminar. A água deve ser rejeitada, sempre que seja detectada a presença de óleos e gorduras, detergentes, uma cor mais escura do que o amarelo pálido, resíduos em suspensão, cheiro forte diferente do da água potável, ácidos com pH inferior a 4 e matéria orgânica, que leva a uma cor mais escura do que castanho amarelado.

Nos ensaios químicos, no processo de filtração, devem usar-se filtros de porosidade 0,45 µm. Se o resíduo dissolvido for inferior a 100 mg/l, aceita-se a água. Como resíduo dissolvido podemos ter: o NaCl, o Na₂SO₄, o Na₂CO₃, os açúcares, os fosfatos, os nitratos, o chumbo e o zinco. Se os sulfatos forem superiores a 2.000 mg/l rejeita-se a água.

Podem fazer-se ensaios comparativos, preparando provetes de argamassa ou betão, uns com água destilada e outros com a água de que suspeitamos. A resistência média à compressão, aos 7 dias, do betão ou dos provetes de argamassa confeccionados com a água em estudo de que suspeitamos deve ser pelo menos 90% da resistência média à compressão dos provetes correspondentes preparados com água destilada.

O tempo de início de presa, obtido em provetes fabricados com a água em estudo, não deve ser inferior a 1 hora e não deve diferir mais do que 25 % do tempo de início de presa, obtido em provetes fabricados com água destilada. O tempo de fim de presa não deve exceder 12 horas e não deve diferir mais do que 25 % do tempo de fim de presa obtido em provetes fabricados com água destilada.

Efectivamente, a água de amassadura influi nas propriedades do betão através das substâncias dissolvidas e em suspensão. As substâncias dissolvidas podem afectar as resistências mecânicas e químicas do betão e das armaduras. As substâncias em suspensão, assim como silte e argila, podem afectar a compacidade e especialmente o crescimento cristalino dos produtos da hidratação do cimento.

2.1.2.4 - Adjuvantes

A utilização de adjuvantes, tais como agentes retentores de água, plastificantes e introdutores de ar, alteram o comportamento do betão. O agente retentor de água começa por ter um efeito espessante, mas a partir de um certo tempo de agitação, tem um efeito fluidificante. O primeiro está associado à fixação de moléculas de água pelas suas cadeias poliméricas e o segundo resulta provavelmente da introdução de ar e sua acção lubrificante na mistura. A introdução do agente plastificante faz com que a resistência do betão ao fluxo diminua, diminuindo deste modo a necessidade de igual quantidade de água na amassadura e mantendo aceitáveis os valores da trabalhabilidade. A adição de um agente introdutor de ar pode levar a uma diminuição significativa da resistência ao fluxo do betão, contribuindo para uma mais que provável redução da resistência mecânica.

Segundo a NP EN 206-1 [1], a aptidão geral está estabelecida para os adjuvantes conformes com a NP EN 934-2 [20]. Os adjuvantes são produtos que se utilizam em pequena quantidade, antes ou durante a amassadura, ou numa operação adicional de amassadura, tendo em vista modificar ou conferir ao betão uma qualidade específica. Há uma enorme gama de adjuvantes. A sua utilização destina-se a vários fins tais como acelerar ou retardar a presa e o endurecimento, assegurar maior resistência ao desgaste e a produtos químicos, entre outros [21].

A quantidade total de adjuvantes, quando utilizados na composição, não deve ultrapassar a dosagem máxima recomendada pelo produtor, nem ultrapassar 50 g de adjuvantes por kg de cimento, a menos que a influência de uma maior dosagem no desempenho e na durabilidade do betão se encontre estabelecida. O uso de adjuvantes não deve ser inferior a 2 g/kg de cimento. Só são permitidas quantidades menores se estes forem dispersos em parte da água da amassadura. Quando for usado mais do que um adjuvante ao mesmo tempo, a sua compatibilidade deve ser verificada com a realização de ensaios iniciais. Alguns adjuvantes, quando utilizados em dosagens erradas, podem provocar efeitos contrários aos pretendidos e podem mesmo diminuir muito a resistência. A mistura na qual será adicionado o adjuvante deve ser homogénea, porque senão ficamos com uma zona que contém todo o adjuvante e outra sem qualquer adjuvante.

De acordo com as suas propriedades e efeito, os adjuvantes podem ser classificados em redutores de água de amassadura (plastificantes, superplastificantes), retentores de água, introdutores de ar, retardadores de presa, aceleradores de presa, redutores de permeabilidade (hidrófugos), inibidores de corrosão de armaduras e fungicidas.

2.1.2.5 - Adições

O objectivo das adições no betão é o de melhorar o seu desempenho, aperfeiçoando certas características, por exemplo, aumentando a resistência, dando cor ao betão, diminuindo o calor de hidratação, reduzindo fissuras, entre outros. Assim, podemos chamar adição a tudo o que no betão não seja cimento, agregado, água ou adjuvante.

Como exemplos de adições temos a sílica activa e o metacaulino que aumentam a resistência e diminuem a permeabilidade, entre outros. Quando adicionados ao cimento, as adições de filler, escória e pozolana, por exemplo, são responsáveis pela diminuição da permeabilidade e da porosidade capilar, aumentando a resistência a sulfatos e reduzindo o calor de hidratação.

Com as cinzas volantes e as escórias de alto forno, considerados produtos poluidores, existe o benefício ambiental de conseguirmos um destino para estes resíduos, e também uma economia da energia eléctrica utilizada nos processos e uma poupança na matéria-prima que dá origem ao cimento, entre elas o calcário. É importante no fabrico de betão, analisar a compatibilidade das adições com os outros componentes, realizando dosagens experimentais.

Consideram-se dois tipos de adições inorgânicas. Para adições quase inertes, tipo I, os fíleres devem estar conformes com a NP EN 12620 [14] e os pigmentos conformes com a NP EN 12878 [22]. Para adições pozolânicas ou hidráulicas latentes, tipo II, as cinzas volantes devem estar conformes com a NP EN 450 [23] e a sílica de fumo conforme com a EN 13263 [24].

2.1.3 - Propriedades do betão

2.1.3.1 - Betão fresco

A escolha dos materiais e a sua dosagem é realizada de modo a obter-se um betão o mais compacto possível e, ao mesmo tempo, que possibilite facilidade de execução e ausência de segregação. Assim sendo, facilmente é compreendida a necessidade de se considerar não só os requisitos de um betão endurecido que, em geral, estão normalmente satisfeitos quando este é compacto, mas também os requisitos de um betão fresco.

É fundamental que o betão fresco respeite dois requisitos: não deve existir a possibilidade de ocorrência de segregação e deve ter plasticidade suficiente para o enchimento completo dos moldes e envolvimento das armaduras, numa palavra, deve ser trabalhável. A trabalhabilidade é portanto a característica mais importante do betão fresco.

A trabalhabilidade de um betão é tanto maior quanto maior for o volume de água, mas em contrapartida a sua compacidade diminui. O betão fica cada vez mais poroso e decresce a sua resistência mecânica, aumentando a permeabilidade. Assim sendo, para se obter a compacidade necessária tem que se optar por um betão com maior quantidade de cimento, o que irá compensar a quantidade de água utilizada para que o betão obtido apresente a trabalhabilidade requerida. Conseguimos, assim, um compromisso entre estas duas propriedades (compacidade / trabalhabilidade) fundamentais que o betão deve garantir.

Até hoje, não se encontrou um processo de medir rapidamente a trabalhabilidade, tal como foi definida. No laboratório, algumas características relacionadas com a trabalhabilidade podem ser medidas, nomeadamente a consistência. A consistência pode medir-se por vários processos, sendo correntemente mais utilizado o ensaio de abaixamento (Figura 2.9), realizado de acordo com a NP EN 12350-2 [25]. Para a sua realização, começa por se encher o molde de Abrams, de forma tronco-cónica, em três camadas de volume sensivelmente iguais. Cada uma das camadas é compactada por 25 pancadas uniformemente distribuídas, dadas por um pilão de 16 mm de diâmetro. Depois, o molde é rasado com uma régua e o betão fica assim nivelado na boca. Seguidamente, retira-se o molde e o betão vai deformar-se e, naturalmente, há uma diminuição de altura que traduz o abaixamento do betão, o qual está relacionado com a trabalhabilidade.

A NP EN 206-1 [1] considera cinco classes de consistência, correspondentes a betões duros, plásticos, moles, fluidos e muito fluidos, apresentadas no Quadro 2.9.



Figura 2.9 - Ensaio de abaixamento realizado em obra

O valor do abaixamento a exigir a um betão depende do tipo e processo de colocação. Por exemplo, para um betão que se destina a ser bombado, o abaixamento ideal é da ordem dos 100 mm. Num betão para vigotas pré-esforçadas o abaixamento ideal será zero. O abaixamento também depende do tipo de compactação que se vai utilizar, assim como do tipo de peça. Para situações normais, em que o betão vai ser vibrado com vibrador de agulha, o abaixamento será da ordem dos 40 mm. Se for um betão para espalhar numa estrada e compactar com cilindros o abaixamento poderá ser zero. Os betões com um abaixamento inferior a 10 mm, classificados relativamente à sua consistência como betões terra-húmida, muito secos, ou secos não são diferenciados através do ensaio de abaixamento.

Quadro 2.9 - Classes de Abaixamento

Classe	Abaixamento em mm
S1	10 a 40
S2	50 a 90
S3	100 a 150
S4	160 a 210
S5	≥ 220

Para distinguir a trabalhabilidade deste tipo de betões, geralmente utiliza-se o ensaio VB (Figura 2.10), conforme a Norma NP EN 12350-3 [26]. De acordo com a NP EN 206-1, são consideradas cinco classes de consistência, apresentadas no Quadro 2.10.

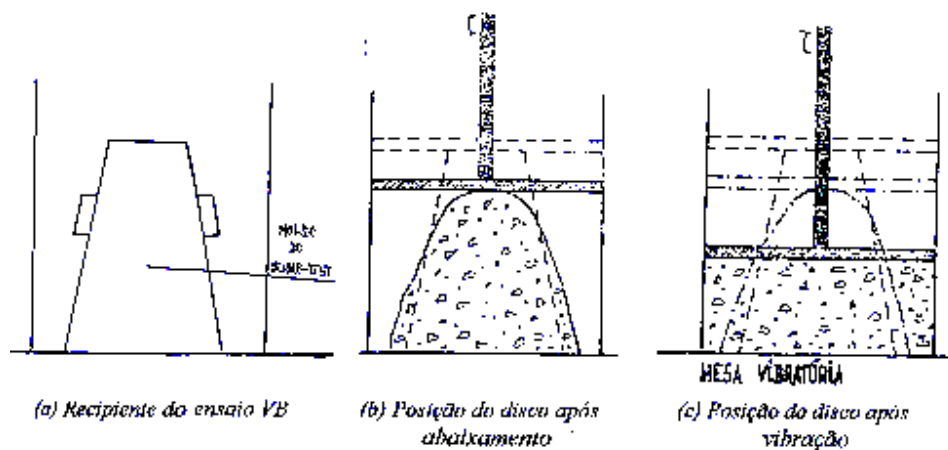


Figura 2.10 - Ensaio VB [27]

Quadro 2.10 - Classes VB

Classe	Tempo Vêbê em s
V0	≥ 31
V1	30 a 21
V2	20 a 11
V3	10 a 6
V4	5 a 3

Assim sendo, pode concluir-se que o ensaio de abaixamento e o ensaio VB são ensaios complementares. Para betões sensíveis ao ensaio de abaixamento faz-se o respectivo ensaio que é fácil e rápido. Quando, pelo contrário, os betões apresentarem uma consistência igual ou superior à seca, utiliza-se o ensaio VB, visto que o primeiro não permite tirar conclusões. O ensaio de espalhamento é outro ensaio utilizado para avaliar a trabalhabilidade do betão, de acordo com a Norma NP EN 12350-5 [28]. Este ensaio tem

especial interesse para betões de grande trabalhabilidade, por exemplo, quando se usam adjuvantes altamente redutores de água. São consideradas seis classes de consistência, apresentadas no Quadro 2.11. Temos ainda o ensaio de compactação, de acordo com a NP EN 12350-4 [29]. Neste caso, a norma prevê cinco classes de compactação, consoante o grau de compactabilidade, como se pode constatar no Quadro 2.12.

Quadro 2.11 - Classes de espalhamento

Classe	Diâmetro de espalhamento em mm
F1	≤ 340
F2	350 a 410
F3	420 a 480
F4	490 a 550
F5	560 a 620
F6	≥ 630

Quadro 2.12 - Classes de Compactação

Classe	Grau de compactabilidade
C0	$\geq 1,46$
C1	1,45 a 1,26
C2	1,25 a 1,11
C3	1,10 a 1,04
C4	$< 1,04$

A consistência pode ser especificada através da referência a uma classe de consistência de acordo com o acima apresentado, com as tolerâncias assinaladas no Quadro 2.13, ou em casos especiais, por um valor pretendido, com tolerâncias assinaladas no Quadro 2.14. No Quadro 2.15, é apresentado o número de não-conformidades aceitável para os critérios de conformidade aplicáveis, de acordo com a norma NP EN 206-1 [1].

Quadro 2.13 - Tolerância para classes pretendidas da consistência

Método de ensaio		Número mínimo de amostras ou de determinações	Número aceitável de não-conformidades	Desvio máximo permitido ^{a)} dos resultados individuais de ensaio relativamente aos limites da classe especificada ou à tolerância sobre o valor pretendido especificado	
				Valor inferior	Valor superior
Inspecção visual	Comparação da aparência com a aparência normal do betão com consistência especificada	Cada amassadura; Para entregas em viatura, cada carga	-	-	-
Abaixamento	EN 12350-2	i) frequência de acordo com a resistência à compressão	Ver Quadro 2.15	- 10 mm	+ 20 mm
Tempo Vêbê	EN 12350-3			- 20 mm ^{b)}	+ 30 mm ^{b)}
Grau de compactabilidade	EN 12350-4	ii) quando se medir o teor de ar	Ver Quadro 2.15	- 2 s	+ 4 s
				- 4 s ^{b)}	+ 6 s ^{b)}
Espalhamento	EN 12350-5	iii) em caso de dúvida após inspecção visual	Ver Quadro 2.15	- 0,03	+ 0,05
				- 0,05 ^{b)}	+ 0,07 ^{b)}
				- 20 mm	+ 30 mm
				- 30 mm ^{b)}	+ 40 mm
a) Quando não existir limite superior ou inferior para a classe de consistência relevante, estes desvios não se aplicam					
b) Só aplicáveis para o ensaio da consistência da descarga inicial da auto-betoneira					

Quadro 2.14 - Tolerância para valores pretendidos da consistência

Abaixamento			
Valor pretendido em mm	≤ 40	50 a 90	≥ 100
Tolerância em mm	± 10	± 20	± 30
Tempo Vêbê			
Valor pretendido em s	≥ 11	10 a 6	≤ 5
Tolerância em s	±3	±2	±1
Grau de Compactabilidade			
Valor pretendido	≥ 1,26	1,25 a 1,11	≤ 1,10
Tolerância	± 0,10	±0 ,08	± 0,05
Diâmetro do espalhamento			
Valor pretendido em mm	Todos os valores		
Tolerância em mm	30		

Quadro 2.15 - Número de não-conformidades aceitável

AQL = 4 %		AQL = 15 %	
Núm. resultados ensaio	Número aceitável	Núm. resultados ensaio	Número aceitável
1 - 12	0	1 - 2	0
13 - 19	1	3 - 4	1
20 - 31	2	5 - 7	2
32 - 39	3	8 - 12	3
40 - 49	4	13 - 19	5
50 - 64	5	20 - 31	7
65 - 79	6	32 - 49	10
80 - 94	7	50 - 79	14
95 - 100	8	80 - 100	21

2.1.3.2 - Betão endurecido

De todas as propriedades atribuídas ao betão endurecido, a mais importante é, em geral, a resistência à compressão [30]. Contudo, em alguns casos particulares, outras propriedades como a resistência à tracção, ao desgaste, aos elementos agressivos, retracção, fluência, impermeabilidade, entre outras, apresentam-se como mais importantes. Como, por exemplo, num reservatório de água será a impermeabilidade a propriedade principal a exigir ao betão [31].

Actualmente, a resistência à compressão é determinada levando à rotura cubos de 15 cm de aresta ou cilindros com 15 cm de diâmetro e 30 cm de altura, feitos com uma amostra colhida no decurso da betonagem, compactados da mesma maneira que na obra e conservados imersos em água à temperatura de 20°C. O ensaio deve ser feito em provetes com a idade padrão de 28 dias [32].

Com o efeito de cintagem, que ocorre devido ao atrito entre os pratos da máquina e as faces do provete em contacto com os referidos pratos, teoricamente é preferível utilizar provetes cilíndricos em vez de provetes cúbicos. Isto porque, o estado de tensão a que os provetes cilíndricos ficam submetidos aproxima-se mais, na zona central, de um estado uniaxial de compressão.

Quando se procede ao ensaio à compressão, a partir de um determinado valor da carga há possibilidade de ocorrerem fissuras. Cessada a carga que originou as fissuras, estas fecham e não há variação de volume. Mas, a partir de um certo valor de carga, as fissuras prolongam-se e quando anulada a carga, as fissuras agora não fecharão. É neste instante que ocorre a rotura. Depois de ocorrerem as segundas fissuras até à rotura é só manter a carga constante. A resistência à compressão do betão é expressa em termos da resistência característica, alcançada com 95 % de confiança. As roturas podem ser em pirâmide e fenda a meio, em pirâmide e cisalhamento, em cisalhamento, em pirâmide e em fendas verticais (Figura 2.11).

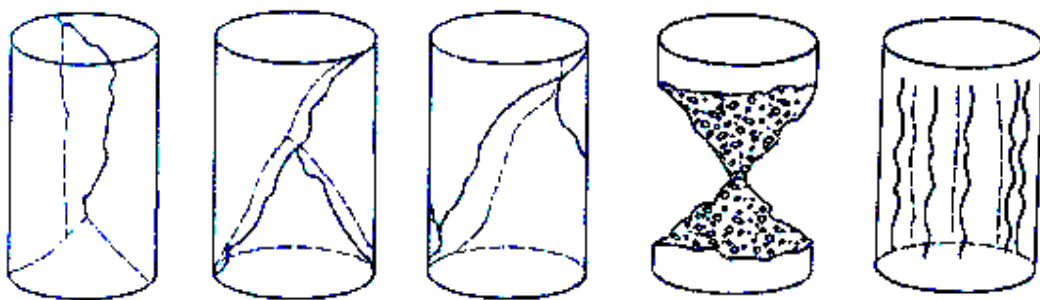


Figura 2.11 - Tipos de rotura [16]

Com base na resistência à compressão, os betões são classificados, conforme se apresenta no Quadro 2.16, segundo a Norma NP EN 206-1 [1]. Apesar das classes dos betões tipo C virem sempre acompanhadas por dois números, referentes ao valor característico da tensão de rotura de um provete cilíndrico e de um provete cúbico, respectivamente, a verificação da conformidade verifica-se apenas num tipo de provete.

Quadro 2.16 - Classes de resistência à compressão para betão de massa volúmica normal e para betão pesado

Classe de resistência à compressão	Resistência característica mínima em cilindros $f_{ck,cyl}$ (N/mm ²)	Resistência característica mínima em cubos $f_{ck,cyl}$ (N/mm ²)
C8/10	8	10
C12/15	12	15
C16/20	16	20
C20/25	20	25
C25/30	25	30
C30/37	30	37
C35/45	35	45
C40/50	40	50
C45/55	45	55
C50/60	50	60
C55/67	55	67
C60/75	60	75
C70/85	70	85
C80/95	80	95
C90/105	90	105
C100/115	100	115

Esta diferença de valores verificada, entre a resistência à compressão em provetes regulamentares cúbicos ou cilíndricos, é devida ao efeito de cintagem. O efeito de cintagem resulta do atrito entre os pratos da máquina e as faces do provete em contacto com eles, o que impede que a expansão do provete se faça livremente, desenvolvendo-se o equivalente a forças laterais de compressão que fazem com que a rotura exija uma carga mais elevada, o que não aconteceria se o provete estivesse sujeito a um estado de tensão uniaxial.

Também a existência de irregularidades nos provetes, vai manifestar-se nos resultados dos ensaios. Nos ensaios com provetes cúbicos estas deficiências podem ser corrigidas, fazendo-se o ensaio com a face de enchimento voltada para o operador. Assim, temos faces perfeitamente planas em contacto com os pratos da máquina. Se os moldes estiverem em conformidade, não haverá perturbações no ensaio. No cilindro, já o mesmo não acontece pois um dos pratos da máquina vai ser aplicado contra a face de enchimento. Isto naturalmente tem os seus efeitos. Para os reduzir, pode proceder-se a um capeamento com uma argamassa apropriada, geralmente elaborada com um produto à base de enxofre. Em alternativa, pode regularizar-se as faces, utilizando uma máquina rectificadora apropriada.

Na resistência à compressão, para além dos parâmetros já mencionados, têm particular importância a idade e as condições ambientais. A resistência à compressão cresce com a idade de uma forma aproximadamente logarítmica. Relativamente à temperatura, o betão não deve atingir temperaturas nem muito elevadas nem muito baixas. O betão quando sujeito a temperaturas elevadas apresenta uma aceleração da presa e de endurecimento. Por sua vez, no betão, quando sujeito a temperaturas inferiores a 0°C, pode ocorrer o fenómeno de gelificação [33]. O diagrama que relaciona tensão/extensões, quanto ao tempo de aplicação da carga, tem a forma apresentada na Figura 2.12. Verifica-se ainda que, à medida que o tempo de aplicação da carga aumenta, as tensões de rotura são menores e as extensões são maiores.

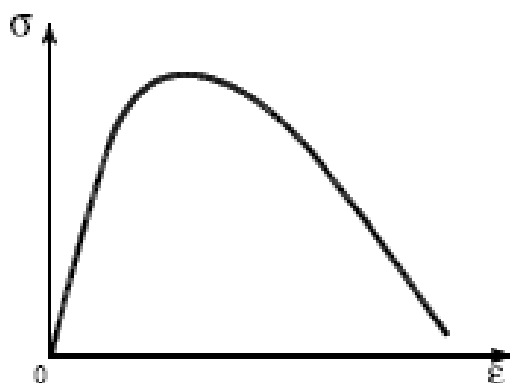


Figura 2.12 - Diagrama tensão-extensão

Um diagrama tensão-extensão, que se admite para efeitos de projecto de estruturas num provete de betão armado (Figura 2.13), é constituído por um trecho parabólico que se prolonga até atingir a extensão de 2 ‰ (correspondente à extensão de rotura do betão por compressão), seguindo-se um trecho recto até um encurtamento de 3,5 ‰ (correspondente à extensão de rotura do betão por flexão) [32].

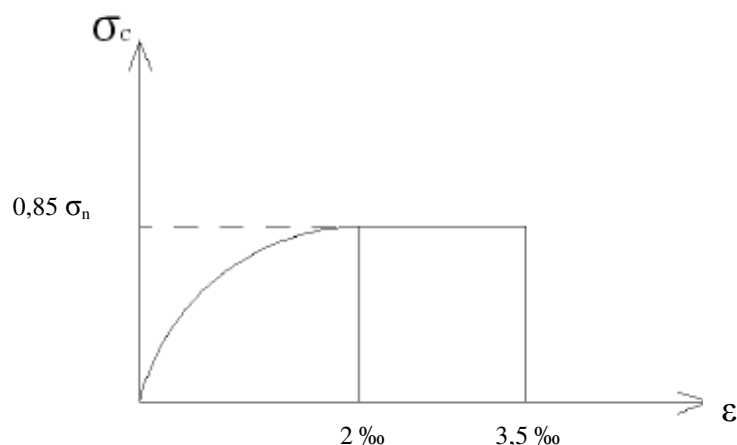


Figura 2.13 - Relação tensão-extensão

A resistência à tracção pode ser obtida através de ensaios directos ou indirectos. Um exemplo de um ensaio indirecto é o ensaio à flexão. Este realiza-se conduzindo um provete de betão simples à rotura por flexão, através da aplicação de uma força concentrada a meio vão. Durante muito tempo, os ensaios indirectos foram mais aplicados que os ensaios directos. Actualmente, continua a recorrer-se mais aos ensaios indirectos, e agora com muito mais frequência. Entretanto, novas técnicas foram introduzidas nos ensaios directos, no cálculo da resistência à tracção. Aqui os provetes usados apresentam geralmente uma forma rectangular à qual se cola, tanto na parte inferior como na parte superior, hastes metálicas articuladas, ligadas a um dispositivo que, por sua vez, se encontra directamente ligado às maxilas da máquina. Facilmente se compreende que a cola a utilizar tem que ser de muito boa qualidade, com uma resistência superior à resistência do provete, o que hoje em dia não é difícil [34].

A retracção é a variação das dimensões das peças de betão, após a sua colocação em obra, devido a reacções dos componentes do betão e à saída de água por secagem. O fenómeno

da retracção é devido a três factores: à evaporação da água utilizada em excesso na amassadura, que não foi consumida na hidratação do ligante; ao facto do volume dos constituintes hidratados de cimento ser inferior à soma dos volumes da água e dos constituintes anidros; e ainda à consequência do calor de presa que dilata o betão fresco e, à medida que se vai restabelecendo o equilíbrio com o exterior, há uma diminuição de volume, ou seja, uma contracção.

Na retracção do betão, têm particular importância as dimensões das peças, a humidade do meio ambiente, a quantidade de armadura existente, a idade do betão e até a sua composição. Numa análise individual, a cada um dos parâmetros anteriormente mencionados, destaca-se o seguinte: nas peças delgadas a retracção é maior, visto que a retracção diminui quando aumenta a espessura. Relativamente à humidade do meio ambiente, quanto mais seco estiver o ambiente maior é a retracção. Por isso, é boa prática proceder à conservação do betão dentro de água. A existência de armaduras contribui para a diminuição da retracção, isto é, se uma peça é pouco armada sofrerá uma maior retracção do que uma peça com maior quantidade de armadura. Com a introdução de uma área de aço de 1 % da secção do betão, reduz-se, cerca de 10 %, ao valor da retracção.

Referimos que a retracção varia com a idade. Aumenta com esta, sendo aos três dias cerca de 15 % do total, mas aos 5 anos já é da ordem dos 95 % do total. Relativamente à variação da retracção com a composição, quanto maior for a quantidade e a finura do cimento maior é a retracção. O volume de água de amassadura, bem como a percentagem de finos dos agregados, se aumentarem produzem maiores variações de volume. O betão feito com agregados calcários apresenta menores valores de retracção que o betão com agregados de grés. Pelo contrário, se se utilizar granito ou basalto, a retracção diminui. Isto quer dizer que a retracção varia com a composição mineralógica dos agregados. Verifica-se que quanto maior a razão água/cimento, para a mesma percentagem de agregados, maior será a retracção do betão (Figura 2.14).

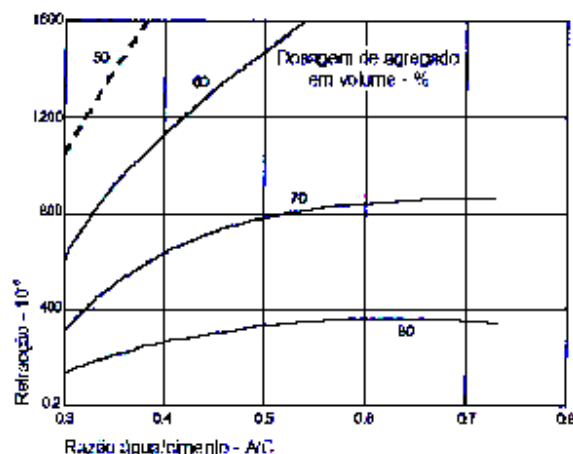


Figura 2.14 - Influência da razão A/C e dosagem de agregado na retração [16]

A fluência corresponde ao aumento progressivo das deformações das peças de betão sob acção de uma tensão constante e em condições termo-higrométricas constantes.

A fluência pode ser explicada por escorregamento cristalino, movimento de água não absorvida pelos produtos hidratados do cimento, escoamento viscoso, ou ainda por um aumento da solubilidade dos constituintes do cimento, devido à tensão a que estão sujeitos.

Este fenómeno é função do tipo de betão, do tipo de cimento, do estado higrométrico do ambiente, das características das peças, da idade do betão quando lhe é aplicada a carga, do valor das cargas aplicadas e varia também ao longo do tempo (Figura 2.15).

A negligência, devido à fluência em elementos estruturais de uma estrutura (pilares, vigas e lajes), poderá resultar numa transferência das cargas dos elementos estruturais para os não estruturais, como as paredes de alvenaria, onde aparecerão muitas das fendas e subsequentes estragos. Um dos factores externos mais importantes, que influencia a fluência do betão, é a humidade relativa pois, a fluência é tanto maior, quanto menor a humidade relativa [35].

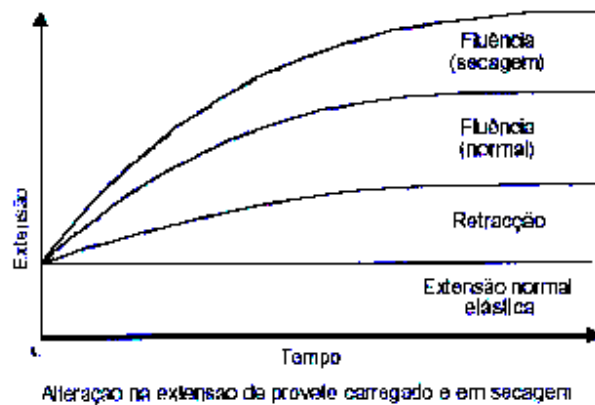


Figura 2.15 - Influência do tempo sobre a fluência

O betão é um material poroso constituído por poros de muito pequenas dimensões. Estes poros podem ser abertos ou fechados. A porosidade absoluta será a soma da porosidade fechada e aberta. Os poros encontram-se disseminados no betão devido a várias causas. Entre elas, podemos citar os vazios que se formam quando ocorre a evaporação da água de amassadura em excesso; os vazios devido à existência de ar entre os componentes do betão, durante a amassadura; a porosidade dos agregados; e as contracções de volume da pasta de cimento depois da sua hidratação. Devido a esta porosidade, podem ocorrer os dois fenómenos. Estas duas propriedades facilitam a penetração da água, a qual pode provocar ciclos de congelação e descongelação ou reagir com os constituintes do cimento. Ou ainda, pode provocar a corrosão nas armaduras, o que a verificar-se, comprometerá bastante o tempo de vida do elemento de betão armado. Se os vazios são de pequenas dimensões, o betão terá forte capilaridade e baixa permeabilidade. Caso contrário, a permeabilidade será considerável e a capilaridade diminuta. A capilaridade aumenta com a razão água-cimento, quando diminui a finura do cimento e com a percentagem de partículas finas dos agregados. A permeabilidade aumenta com a dimensão do material agregado e a razão A/C, diminuindo com a idade do betão e com o aumento da quantidade de cimento.

O betão é bastante sensível a temperaturas elevadas, bem como a temperaturas inferiores a -5°C . No primeiro caso, pode dar-se a desidratação dos constituintes do cimento. As temperaturas baixas podem conduzir à fadiga do betão, pois podem provocar sucessivos

ciclos de gelo e de degelo da água existente nos poros de betão. No entanto, a deterioração do betão mais importante é de natureza química. Por exemplo, as águas sulfatadas, os ácidos minerais, substâncias orgânicas, entre outros, reagem com o cimento, provocando grandes alterações que comprometem a qualidade do betão. Não são só agentes exteriores que produzem alterações. Os próprios agregados podem reagir entre si e com o cimento.

Quando o betão está sujeito a temperaturas baixas é necessário proceder à introdução de ar. Assim que estas medidas se revelem insuficientes aplicam-se revestimentos betuminosos, pinturas, placas plásticas ou resinas sintéticas.

Nas peças de betão armado, e principalmente pré-esforçado, é fundamental a preocupação com a conservação das armaduras, visto que estas podem sofrer um processo de corrosão. Para proteger as armaduras fazem-se recobrimentos de maior espessura. Caso esta medida seja insuficiente, geralmente empregam-se aços inoxidáveis, ou reveste-se a armadura com resinas de epóxico.

2.1.4 - Fabrico do betão

Quando os diversos materiais a utilizar no fabrico do betão chegam à obra procede-se ao seu armazenamento. Os diferentes tipos de materiais devem ser armazenados de forma a evitar a sua mistura, contaminação e deterioração. Em particular, o cimento e os adjuvantes devem ser protegidos da humidade e de impurezas; os vários tipos e classes de cimento e os adjuvantes devem estar claramente identificados e armazenados, de modo a excluir qualquer possibilidade de engano. Os agregados de diferentes granulometrias ou tipos, devem manter-se separados. No caso de agregados com água superficial, estes devem ser sujeitos a armazenamento, de modo a obter-se uma uniformização do seu teor de humidade, durante um período não inferior a 12 horas. A humidade dos agregados, medida pelo teor em água, deve ser determinada quando se lança o agregado à betoneira e deve proceder-se às respectivas correcções da dosagem de água a utilizar na amassadura [36].

Antes de entrar propriamente nos processos de fabrico do betão, procede-se à medição dos materiais a utilizar. O cimento e os agregados em forma de pó convém serem doseados em peso, embora seja de prática comum, em obras pequenas, que o doseamento do cimento seja feito por sacos com 40 kg ou outros. Quanto à água, o doseamento pode ser feito em peso ou em volume. Para tal, vários são os processos permitidos. Tal como na água, os adjuvantes podem ser doseados em peso ou em volume. O doseamento dos adjuvantes exige mecanismos delicados de grande precisão, dadas as pequenas percentagens em que são empregues e as consequências que podem advir dum engano nas pesagens [37].

A amassadura mecânica faz-se por meio de betoneiras. A amassadura deve considerar-se iniciada a partir do momento em que todos os constituintes se encontram na betoneira. Esta não deve ser carregada além da sua capacidade útil. É um processo que permite conferir a homogeneidade ao betão, assim como a sua correcção ao longo da amassadura, uma vez que há possibilidade de observação da amassadura em todo o seu desenvolvimento. Sempre que seja necessário a adição de adjuvantes, estes devem ser previamente dispersos numa parte da água de amassadura. Após a adição do adjuvante, o betão deve ser reamassado até que o adjuvante esteja completa e uniformemente disperso na massa. Existem três tipos de betoneiras: betoneiras misturadoras, betoneiras de eixo horizontal e betoneiras de eixo com inclinação variável. As betoneiras misturadoras são geralmente usadas em betões secos, com materiais de pequenas dimensões. Estas betoneiras são compostas por um eixo vertical. Os materiais ficam no fundo e é o tambor que tem umas pás que os vão misturar. As betoneiras, conforme o exemplo da Figura 2.16, são aquelas que apresentam maior aproveitamento da capacidade, pois teoricamente podem ser cheias até ao seu bordo. As betoneiras de inclinação variável permitem três posições: uma para a carga, outra para a mistura e outra para a descarga. O tambor apresenta uma forma que se assemelha a uma pêra com placas helicoidais no interior. Estas são as mais indicadas para pequenas obras.

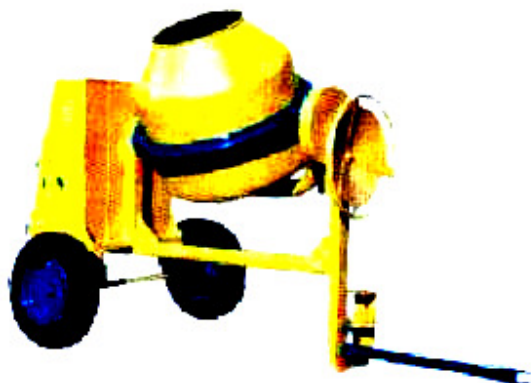


Figura 2.16 - Betoneira

Actualmente, o recurso a centrais industriais para o fabrico do betão é o processo mais em voga, não só por ser mais prático, mas também pela qualidade do betão obtida por este processo. Recorrendo a este processo temos a garantia da regularidade do produto: a precisão devido à utilização de materiais de características constantes, a utilização de processos de medição precisos dos constituintes, entre outros.

2.1.5 - Colocação em obra

O controlo da qualidade é definido como a combinação de acções e decisões, tomadas de acordo com as especificações e verificações, de modo a assegurar a satisfação das exigências específicas.

O controlo de qualidade compreende duas partes distintas, mas interligadas, que são o controlo da produção e o controlo da conformidade. Relativamente ao controlo da produção, pouco será desenvolvido, sendo apenas feitas anotações genéricas, visto o assunto não estar directamente ligado a este trabalho, onde toda a abordagem irá residir, fundamentalmente, no controlo da conformidade da resistência à compressão [38].

O controlo da produção inclui inspecções, ensaios e a análise dos seus resultados, no que respeita ao equipamento, materiais constituintes, betão fresco e betão endurecido. Para além deste controlo do fabrico, o controlo da produção compreende, igualmente, a inspecção

antes da betonagem, bem como as inspeções respeitantes ao transporte, colocação, compactação e cura do betão. O tipo e a frequência das inspeções ou ensaios exigidos no controlo dos materiais constituintes, equipamentos, processos de fabrico e propriedades do betão vão ter que estar de acordo com o exigido na norma NP EN 206-1 [1], estando previstas disposições adicionais para betão de alta resistência.

A remoção de poeira, serradura, neve, gelo e restos de arame de ligação das cofragens; a estanquidade das cofragens para evitar a saída da pasta de cimento; a preparação da superfície das cofragens, a molhagem das cofragens ou das camadas anteriores ao betão são alguns dos aspectos de maior importância e motivo de inspeção.

Relativamente à inspeção durante o transporte, colocação, compactação e cura do betão fresco, a Norma NP EN 206-1 [1] refere que, durante as operações de betonagem têm de ser feitas inspeções, entre outras, sobre os seguintes aspectos: manutenção da uniformidade do betão durante o transporte e a colocação, distribuição uniforme do betão no interior das cofragens; compactação uniforme e ausência de segregação durante a compactação; ritmo de betonagem e subida do betão na cofragem; medidas especiais no caso de betonagem em tempo frio ou em tempo quente, entre outros.

Segundo a Norma NP EN 206-1 [1], devem ser registados todos os dados relevantes do controlo da produção. Estes registos devem ser conservados, pelo menos, durante 3 anos, a não ser que obrigações legais exijam um período mais longo. No caso de alguma alteração nos processos de controlo, estes devem ser registados e relatados à pessoa responsável.

2.1.6 - Aplicação do betão

Após o seu fabrico (Figura 2.17), as operações de betonagem devem ser feitas de modo a manter-se a uniformidade do betão durante o transporte, a colocação e a compactação. Nesta última é também importante garantir a ausência da segregação.



Figura 2.17 - Central de betão

2.1.7 - Transporte

Quanto ao transporte e entrega do betão fresco, devem ser tomadas medidas apropriadas para evitar a segregação, a perda de constituintes ou a sua contaminação durante o transporte e a descarga. O transporte deve ser feito com o recurso a equipamento adequado que permita manter as propriedades da amassadura, teor em água e uniformidade da mistura, até ao momento da colocação no molde. Refira-se ainda que a duração máxima admissível a atribuir ao transporte depende essencialmente da composição do betão e das condições atmosféricas. No caso do betão fabricado em centrais, o equipamento mais adequado para o transporte se efectuar é através de camiões misturadores. Estes são constituídos por um tambor cilíndrico montado sobre um eixo inclinado (aproximadamente 15°) que pode ser animado de movimento de rotação com velocidade variável (Figura 2.18). A sua colocação nos moldes ou recipientes é feita ou através de uma bomba, ou então, tal como no betão fabricado em obra, através de recipientes tais como baldes ou contentores, por meio de caleiras, por tapetes rolantes e por meio de tubagens [39].



Figura 2.18 - Autobetoneira

2.1.8 - Colocação e compactação

O betão deve ser colocado tão cedo quanto possível após a amassadura, a fim de minimizar a perda de trabalhabilidade. Durante a colocação devem ser tomadas medidas para evitar a segregação e garantir a compactação adequada quando se permite a queda livre do betão.

De modo a atingir este objectivo, as seguintes regras devem ser cumpridas:

- A deslocação do betão, quer por imersão ou por acção de uma agulha vibradora, deve ser evitada;
- O betão deve ser colocado em camadas uniformes e não em montes ou camadas inclinadas;
- A espessura de uma camada deve ser compatível com o método de vibração, de modo que o ar preso no fundo de cada camada possa ser retirado;
- A velocidade de colocação e compactação deverá ser a mesma;
- Cada camada deve ser compactada convenientemente antes da colocação da próxima camada, sendo a colocação efectuada quando a camada anterior ainda está plástica;

- Evitar a deslocação da cofragem e da armadura devido ao processo de colocação do betão;
- O betão deve ser colocado num plano vertical para evitar a segregação durante a colocação.

O betão deve ser cuidadosamente compactado durante a colocação, especialmente à volta das armaduras do betão armado ou pré-esforçado, das bainhas e das amarrações e ainda nos cantos das cofragens, para que forme uma massa compacta, livre de vazios, em particular na zona de recobrimento das armaduras. Devem ser especificadas, além disso, exigências especiais para o acabamento da superfície. Enquanto se coloca e compacta o betão, deve haver o cuidado de não deslocar ou danificar as armaduras, cabos pré-tensionados, bainhas, ancoragens e cofragens [40].

Há alguns anos, a compactação manual era priverligiada. Nos tempos mais recentes têm surgido equipamentos mecânicos cada vez mais eficazes (Figura 2.19).



Figura 2.19 - Colocação e Compactação [41]

Quando se utilizam vibradores, convém que a vibração seja aplicada continuamente durante a colocação de cada amassadura de betão e de modo a não provocar segregação, até que praticamente cesse a expulsão de ar. A densidade da armadura constitui uma dificuldade nas operações de vibração da massa de betão.

2.1.9 - Cura e protecção

A importância da cura do betão é fundamental. Para que o betão obtenha as propriedades potenciais esperadas, em especial na zona superficial, é necessário uma cura e uma protecção adequadas durante um período conveniente. Após a compactação do betão, convém iniciar a cura e protecção tão cedo quanto possível. A cura é uma prevenção contra a secagem prematura, particularmente devido à radiação solar. Relativamente à cura do betão, os principais métodos disponíveis são a manutenção da cofragem no lugar, a protecção do betão com filmes plásticos, a protecção do betão com coberturas húmidas, aspersão de água sobre o betão, ou aplicação de compostos de cura que formam membranas protectoras. Estes podem ser aplicados separadamente ou combinados.

A duração da cura depende do tempo necessário para se obter impermeabilidade aos gases e líquidos da camada superficial de recobrimento das armaduras do betão. Os tempos de cura são determinados com base nos seguintes critérios: maturidade baseada no grau de hidratação do cimento e nas condições ambientais e exigências locais.

A protecção do betão faz-se no sentido de prevenção deste contra o arrefecimento rápido durante os primeiros dias após a colocação; as grandes diferenças de temperatura interna; as baixas temperaturas ou gelo; a vibração e impacto, que podem romper o betão e afectar a sua aderência às armaduras.

O betão, durante o seu endurecimento, deve ser protegido contra os danos devido a restrições internas ou externas de deformação, causadas pelo calor desenvolvido no interior do betão que poderá provocar a fissuração superficial [37] (Figura 2.20). Para as evitar é conveniente que a diferença de temperatura entre o centro da massa e a superfície seja

inferior a 20°C. As grandes diferenças de temperatura internas do betão não são o único motivo de preocupação de protecção, outros mais existem, tais como o arrastamento dos finos pela chuva ou pela água corrente.

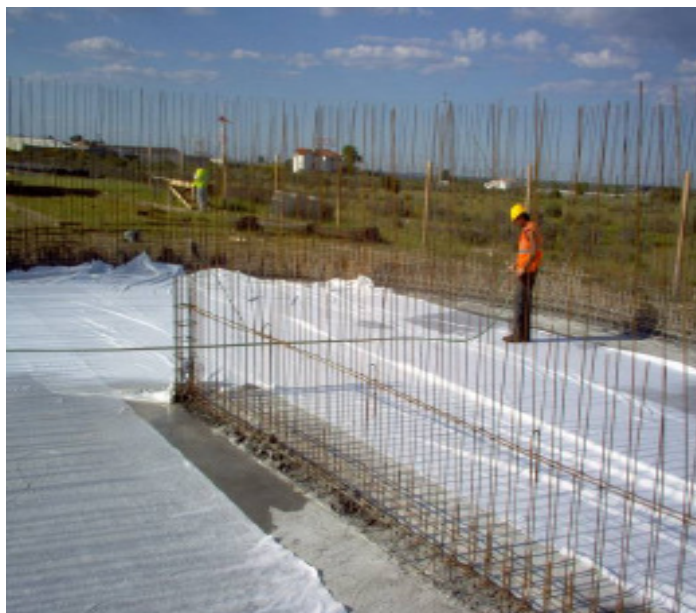


Figura 2.20 - Processo de cura com aplicação de cobertura húmida (geotextil) [41]

2.1.10 - Descobragem

As cofragens podem ser retiradas quando for alcançada uma resistência adequada relativamente à capacidade de carga e às deformações da estrutura, ou quando a cofragem já não é necessária para a cura (Figura 2.21) [42].



Figura 2.21 - Desmontagem de cimbrês e cofragem de laje [41]

2.2 - Projecto de Estruturas de Betão

O Eurocódigo 2 [43], em paralelo com as outras Euronormas fundamentais para a sua implementação no dimensionamento e verificação da segurança de estruturas, encontra-se publicado em português e visa a verificação da segurança de estruturas. Assim, em relação às estruturas de betão, consideram-se as seguintes normas: Eurocódigo – Bases para o dimensionamento de estruturas (Segurança), Eurocódigo 1 – Acções nas Estruturas, Eurocódigo 7 – Dimensionamento Geotécnico, Eurocódigo 8 – Dimensionamento de Estruturas em Regiões Sísmicas, NP EN 13670-1 – Execução de Estruturas de Betão [45], NP EN 206-1 – Betão – Comportamento, produção, colocação e critérios de conformidade [1]. O Eurocódigo 2 inclui 4 partes: Parte 1.1 – Regras gerais [44], Parte 1.2 – Dimensionamento de Estruturas para a Acção do Fogo, Parte 2 – Pontes de Betão Armado e Pré-Esforçado, Parte 3 – Estruturas para Armazenamento de Líquidos ou outros Produtos.

Com esta nova regulamentação, não se introduzem alterações profundas, ficando-se por algumas actualizações. No início do século XX, estabeleceu-se a teoria do comportamento das estruturas de betão armado. Nos anos 60, foi estabelecida a filosofia de dimensionamento das estruturas aos estados limites. Assinala-se, ainda, a evolução nas propriedades dos materiais (nomeadamente o aumento da classe de resistência dos betões) e o tratamento da durabilidade das estruturas.

No Eurocódigo 8 são tratadas as disposições especiais em zonas sísmicas, facto que não é visto no Eurocódigo 2 [43]. O capítulo do REBAP (Regulamento de Estruturas de Betão Armado e Pré-Esforçado), sobre estruturas de ductilidade melhorada (Capítulo XII), que estabelece conceitos e critérios básicos para um dimensionamento adequado em zonas sísmicas, não tem equivalência no Eurocódigo 2 [43], mas sim no Eurocódigo 8. A matéria relativa à execução de estruturas (Capítulo XIII e XIV do REBAP) é tratada na NP EN 13670-1 [44], e não no Eurocódigo 2 [43].

Pode ainda afirmar-se, de uma forma geral, que em termos práticos, a alteração do REBAP para o Eurocódigo 2 [43] não é muito significativa, ou seja, uma estrutura bem concebida e

dimensionada, de acordo com o REBAP, também estará bem dimensionada de acordo com o Eurocódigo 2 [43], salvo pormenores. Um aspecto relevante é a alteração significativa da nomenclatura e simbologia adoptada no Eurocódigo 2 [43], em relação à adoptada no REBAP.

Segundo o Eurocódigo 2 [43], as disposições normativas são aplicáveis para as características indicadas na norma, isto é, para os betões de peso normal da classe de resistência C12/15 a C90/105 e para betões leves das classes LC12/13 a LC80/88, acompanhando a evolução das características dos materiais. Regista-se, também, uma mudança na terminologia. C12/15 significa um betão com uma resistência à compressão característica aos 28 dias de idade de 12 MPa, obtida em provetes cilíndricos, ou 15 MPa obtida em provetes cúbicos (ver Figura 2.22). Aqui, também existem diferenças, em relação ao REBAP, entre os valores atribuídos aos cubos e cilindros.

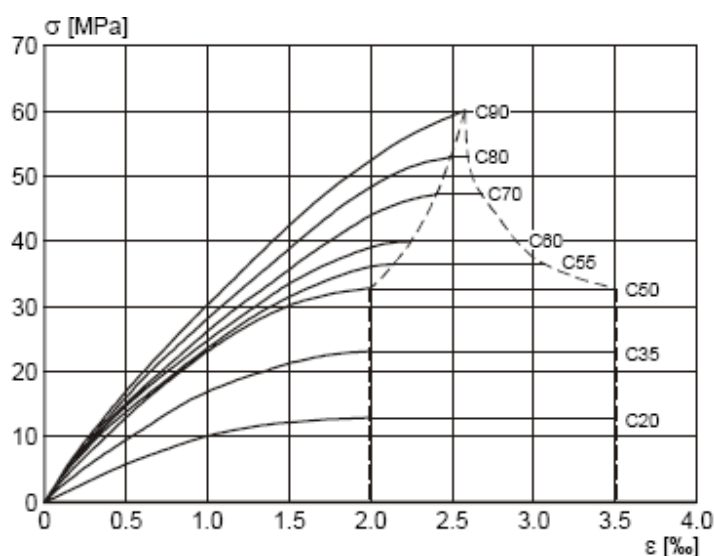


Figura 2.22 - Diagrama parábola-rectângulo de cálculo para $\sigma - \epsilon$ de betão

2.2.1 - Classes de exposição

2.2.1.1 - Campo de aplicação

A Especificação E 464 [45] estabelece o enquadramento geral para garantir a vida útil de projecto das estruturas de betão e a aptidão do conceito de desempenho equivalente. Estabelece ainda a aptidão dos ligantes hidráulicos - cimentos e misturas de cimentos e adições - como constituintes do betão, esclarece a selecção das classes de exposição em que na NP EN 206-1 [1] foram organizadas as acções ambientais agressivas para o betão e fixa as medidas prescritivas que permitem esperar que seja satisfeita a vida útil de projecto das estruturas de betão de 50 ou de 100 anos nos ambientes correspondentes às diversas classes de exposição.

2.2.1.2 - Classes de exposição ambiental

As condições ambientais a que o betão está exposto, as reacções químicas expansivas internas (reacções álcalis-agregado e reacções sulfáticas), ou as outras acções, normalmente tratadas no cálculo estrutural (p.e., acções térmicas, fluência, retracções, desgaste), podem resultar na deterioração do mesmo. Na Especificação LNEC E 461 [18], são tratados os mecanismos que conduzem a reacções expansivas internas no betão e a forma de as prevenir.

As acções ambientais estão classificadas na NP EN 206-1 [1] em 6 grupos: 3 relativos à deterioração do betão por corrosão das armaduras, por acção do dióxido de carbono e dos cloretos provenientes da água do mar, ou de outras origens (XC, XS e XD), 2 relativos à deterioração do próprio betão pelo gelo/degelo (XF) ou por ataque químico (XA) e 1 grupo (XO) para quando não há risco de corrosão de metais ou de ataque ao betão. Os grupos (com excepção de XO) estão divididos em classes de exposição que são apresentadas na NP EN 206-1 [1] através da descrição sumária do ambiente e de exemplos informativos, com excepção das classes XA. Nos Quadros 2.20 a 2.24 volta a repetir-se esta organização, acrescentando-se mais exemplos informativos, não estando incluídas as classes XF3 e XF4,

por não serem aplicáveis em Portugal e as classes XA, por se manter sem qualquer alteração o estabelecido na NP EN 206-1 [1]. Quando nas classes XA1 ou XA2 houver riscos de acumulação de sulfatos devido a ciclos de secagem e molhagem ou de absorção capilar, devem satisfazer-se os requisitos da classe superior. O ataque por bactérias, nomeadamente as anaeróbicas que se encontram, por exemplo, nos esgotos e produzem ácidos sulfúrico e nítrico, é um ataque químico fortemente agressivo (classe XA3) [45].

2.2.1.3 - Composição e classe de resistência do betão

Para as estruturas de betão que tenham uma vida útil de projecto de 50 ou de 100 anos são estabelecidas prescrições específicas e prescrições gerais para qualquer que seja a vida útil. Para a composição e resistência do betão, indicados com carácter informativo na NP EN 206-1 [1], em substituição dos valores limites, estabelecem-se nos Quadros 2.25 e 2.26, quando há risco de corrosão das armaduras e nos Quadros 2.27 e 2.28, quando há gelo/degelo ou ataque químico, respectivamente, os valores da máxima razão água/cimento, da mínima dosagem de cimento e da mínima classe de resistência à compressão simples que o betão deve satisfazer para que o tempo de vida útil das estruturas de betão, sob as acções ambientais, seja de 50 anos. Em cada um destes quadros, são indicados os tipos de cimento que se devem utilizar. Nos casos das classes de exposição XC e XS, Quadros 2.25 e 2.26 respectivamente, são também indicados os valores mínimos do recobrimento nominal (a especificar no projecto e a garantir na obra pelo utilizador do betão) que, conjuntamente com estes requisitos do betão, permitem esperar que, em cada classe de exposição XC ou XS, fique garantida aquela vida útil de projecto de 50 anos.

Os requisitos dos Quadros 2.25 a 2.28 devem ter as alterações a seguir indicadas, para um tempo de vida útil de 100 anos. Quando os betões armados ou pré-esforçados estão sujeitos à acção do dióxido de carbono ou dos cloretos, o valor do recobrimento nominal dos Quadros 2.25 e 2.26 é aumentado de 10 mm, mantendo-se os requisitos exigidos ao betão nestes quadros. Quando os betões estão sujeitos à acção do gelo-degelo ou ao ataque químico, Quadros 2.27 e 2.28, a máxima razão água/cimento é diminuída de 0,05, a mínima

dosagem de cimento é aumentada de 20 kg/m³ e a classe de resistência à compressão simples dos betões é aumentada de 2 classes.

Na classe XO deve aplicar-se o estabelecido na NP EN 206-1 [1], independentemente da vida útil da estrutura, podendo usar-se qualquer cimento ou mistura. As dosagens de cimento, ou da correspondente mistura C, indicadas nos Quadros 2.25 a 2.28, respeitam a betões com máxima dimensão do agregado mais grosso, D_{max} , igual ou maior que 20 mm. Para betões com menores valores de D_{max} , as dosagens devem ser as seguintes:

para $20 \text{ mm} > D_{max} \geq 12,5 \text{ mm}$: $C_{20/12,5} = 1,10 C$

para $12,5 \text{ mm} > D_{max} > 4 \text{ mm}$: $C_{12,5/4} = 1,23 C$.

Quando a agressividade química provier da acção dos sulfatos, presentes na água ou nos solos em contacto com o betão, a composição do clínquer dos cimentos, ou das correspondentes misturas, deve satisfazer os limites indicados no Quadro 2.26, quanto à composição do clínquer de cimentos resistentes aos sulfatos. O utilizador é a pessoa ou entidade que utiliza o betão fresco na execução de uma construção ou elemento (ver NP EN 206-1 [1]) (Quadros 2.17 a 2.26) [45].

Quadro 2.17 - Sem risco de corrosão ou ataque [45]

Classe	Descrição do ambiente	Exemplos Informativos
X0	Para betão sem armaduras: Todas as exposições, excepto ao gelo/degelo, à abrasão ou ao ataque químico	Betão enterrado em solo não agressivo. Betão permanentemente submerso em água não agressiva. Betão com ciclos de molhagem/secagem não sujeito a abrasão, gelo/degelo ou ataque químico.
	Para betão armado: muito seco	Betão armado em ambiente muito seco. Betão no interior de edifícios com muita baixa humidade do ar.

Quadro 2.18 - Corrosão induzida por carbonatação [45]

Classe	Descrição do ambiente	Exemplos Informativos
XC1	Seco ou permanentemente húmido	Betão armado no interior de edifícios ou estruturas, com excepção das áreas com humidade elevada. Betão armado permanentemente submerso em água não agressiva.
XC2	Húmido, raramente seco	Betão armado enterrado em solo não agressivo. Betão armado sujeito a longos períodos de contacto com água não agressiva.
XC3	Moderadamente húmido	Superfícies exteriores de betão armado protegidas da chuva transportada pelo vento. Betão armado no interior de estruturas com moderada ou elevada humidade do ar (v.g., cozinhas, casas de banho).
XC4	Ciclicamente húmido e seco	Betão armado exposto a ciclos de molhagem/secagem. Superfícies de betão armado expostas à chuva ou fora do âmbito da XC2.

Quadro 2.19 - Corrosão induzida por cloretos não provenientes da água do mar [45]

Classe	Descrição do ambiente	Exemplos Informativos
XD1	Moderadamente húmido	Betão armado em partes de pontes afastadas da acção directa dos sais descongelantes, mas expostas a cloretos transportados pelo ar.
XD2	Húmido, raramente seco	Betão armado completamente imerso em água contendo cloretos; piscinas.
XD3	Ciclicamente húmido e seco	Betão armado directamente afectado pelos sais descongelantes ou pelos salpicos de água contendo cloretos. Betão armado em que uma das superfícies está imersa em água contendo cloretos e a outra exposta ao ar (v.g., algumas piscinas ou partes delas). Lajes de parques de estacionamento de automóveis e outros pavimentos expostos a sais contendo cloretos.

Quadro 2.20 - Corrosão induzida por cloretos da água do mar [45]

Classe	Descrição do ambiente	Exemplos Informativos
XS1	Ar transportando sais marinhos mas sem contacto directo com água do mar	Betão armado em ambiente marítimo saturado de sais. Betão armado em áreas costeiras perto do mar, directamente exposto e a menos de 200 m do mar; esta distância pode ser aumentada até 1 km nas costas planas e foz de rios.
XS2	Submersão permanente	Betão armado permanentemente submerso.
XS3	Zona de marés, de rebentação e de salpicos	Betão armado sujeito às marés ou aos salpicos, desde 10 m acima do nível superior das marés (5 m na costa Sul de Portugal Continental) até 1 m abaixo do nível inferior das marés. Betão armado em que uma das superfícies está imersa em água do mar e a outra exposta ao ar (v.g., túneis submersos ou abertos em rocha ou solos permeáveis no mar ou em estuário de rios). Esta exposição exigirá muito provavelmente medidas de protecção suplementares

Quadro 2.21 - Ataque por gelo/degelo [45]

Classe	Descrição do ambiente	Exemplos Informativos
XF1	Moderado número de ciclos de gelo/degelo, sem produtos descongelantes	Betão em superfícies verticais expostas à chuva e ao gelo. Betão em superfícies não verticais mas expostas à chuva ou gelo.
XF2	Moderado número de ciclos de gelo/degelo, com produtos descongelantes	Betão, tal como nas pontes, classificável como XF1, mas exposto aos sais descongelantes directa ou indirectamente.

Quadro 2.22 - Limites da composição e da classe de resistência do betão sob acção do dióxido de carbono, para uma vida útil de 50 anos [45]

Tipo de cimento	CEM I (Referência); CEM II/A				CEM II/B; CEM III/A; CEM IV; CEM V/A			
	XC1	XC2	XC3	XC4	XC1	XC2	XC3	XC4
Mínimo recobrimento nominal (mm)	25	35	35	40	25	35	35	40
Máxima razão água/cimento	0,65	0,65	0,60	0,60	0,65	0,65	0,55	0,55
Mínima dosagem de cimento, C (kg/m ³)	240	240	280	280	260	260	300	300
Mínima classe de resistência	C25/30 LC25/28	C25/30 LC25/28	C30/37 LC30/33	C30/37 LC30/33	C25/30 LC25/28	C25/30 LC25/28	C30/37 LC30/33	C30/37 LC30/33

Quadro 2.23 - Limites da composição e da classe de resistência do betão sob acção dos cloretos, para uma vida útil de 50 anos [45]

Tipo de cimento	CEM IV/A (Referência): CEM IV/A; CEM III/A; CEM III/B; CEM V; CEM II/B; CEM II/A-D			CEM I; CEM II/A		
	XS1/XD1	XS2/XD2	XS3/XD3	XS1/XD1	XS2/XD2	XS3/XD3
Mínimo recobrimento nominal (mm)	45	50	55	45	50	55
Máxima razão água/cimento	0,55	0,55	0,45	0,45	0,45	0,40
Mínima dosagem de cimento, C (kg/m ³)	320	320	340	360	360	380
Mínima classe de resistência	C30/37 LC30/33	C30/37 LC30/33	C35/45 LC35/38	C40/50 LC40/44	C40/50 LC40/44	C50/60 LC50/55

Quadro 2.24 - Limites da composição e da classe de resistência do betão sob acção do gelo/degelo, para uma vida útil de 50 anos [45]

Tipo de cimento	CEM I (Referência); CEM II/A		CEM II/B; CEM III/A; CEM IV; CEM V/A	
	XF1	XF2	XF1	XF2
Classe de exposição	XF1	XF2	XF1	XF2
Máxima razão água/cimento	0,60	0,55	0,55	0,50
Mínima dosagem de cimento, C (kg/m ³)	280	280	300	300
Mínima classe de resistência	C30/37 LC30/33	C30/37 LC30/33	C30/37 LC30/33	C30/37 LC30/33
Teor mínimo de ar (%)	-	4,0	-	4,0

Quadro 2.25 - Limites da composição e da classe de resistência à compressão do betão sob ataque químico, para uma vida útil de 50 anos [45]

Tipo de cimento	CEM IV/A (Referência); CEM IV/A; CEM III/A; CEM III/B; CEM V; CEM II/B; CEM II/A-D			CEM I; CEM II/A		
	XA1	XA2	XA3	XA1	XA2	XA3
Classe de exposição	XA1	XA2	XA3	XA1	XA2	XA3
Máxima razão água/cimento	0,55	0,50	0,45	0,50	0,45	0,45
Mínima dosagem de cimento, C (kg/m ³)	320	340	360	340	360	380
Mínima classe de resistência	C30/37 LC30/33	C35/45 LC35/38	C35/45 LC35/38	C35/45 LC35/38	C40/50 LC40/44	C40/50 LC40/44

Quadro 2.26 - Composição do clínquer de cimentos resistentes aos sulfatos [45]

Tipo de cimento		CEM I	CEM II	CEM III, IV, V
Teor de C A	XA2	≤ 5 %	≤ 8 %	≤ 10 %
	XA3	≤ 5 %	≤ 6 %	≤ 8 %
Teor de (C A+C AF)		≤ 20 %		≤ 25 %

Se os cimentos ou as misturas, satisfizerem o estabelecido na Especificação LNEC E 462 [46], após a realização do ensaio de resistência aos sulfatos nela previsto, poder-se-ão utilizar cimentos (ou misturas) não respeitando estes valores. Os cimentos Portland não resistem a meios ácidos, cujo pH seja inferior a 4, pelo que têm que ser protegidos do contacto com estes meios, através dum revestimento por pintura. Deve também existir esta protecção sempre que o teor de qualquer dos elementos agressivos referidos na NP EN 206-1 [1] seja superior ao limite indicado para a classe XA3. Seleccionada, por fim, a classe de exposição apropriada para garantir a durabilidade duma estrutura de betão, devem ainda ser satisfeitos, no seu projecto e execução, os requisitos de colocação em obra, de protecção e cura do betão e demais requisitos estabelecidos na NP ENV 13670-1 [44] e a manutenção prevista, como estipula a NP EN 206-1 [1].

2.2.1.4 - Combinações de classes de exposição

A NP EN 206-1 [1] estabelece que as condições ambientais às quais o betão está sujeito, podem ter que ser expressas como uma combinação de classes de exposição. Acrescenta ainda que as diferentes superfícies de um elemento estrutural podem estar sujeitas a diferentes acções. Assim, deve ter-se em conta que a classe XO e, em geral, a classe XC1, se aplicam isoladas. Além disso, a carbonatação é um processo comum a todas as estruturas de betão e a acção dos cloretos, de ataques químicos e por gelo/degelo são específicas de certos ambientes. Na orla marítima (classes XS), o número de dias com temperaturas negativas (onde se poderiam aplicar as classes XF) é desprezável, enquanto no interior, nomeadamente nas zonas com um total de 30 ou mais dias com temperaturas negativas, pode haver combinação das classes XF2 com a XD (embora esta classe seja pouco frequente em Portugal). O ataque químico ao betão de fundações, obras de suporte de terras, ou pavimentos em contacto com solos, dá-se em solos agressivos ou em águas

agressivas com nível freático a atingir as fundações e ao betão de superestruturas de reservatórios ou condutas por acção de águas agressivas [45]. As combinações de classes de exposição mais frequentes são as do Quadro 2.27.

Quadro 2.27 - Combinações de classes de exposição

XC2 com:	XD2 XS2 + ataque da água do mar (XA1) XF1 XA1, XA2 ou XA3
XC3 ou XC4 com:	XF1 XD1 + XF2 XS1 XD3 XS3 + ataque da água do mar (XA1)
XC4 com:	XA1, XA2 ou XA3

Na combinação de classes de exposição ambiental devem ser satisfeitos para o cimento a utilizar, ou para a correspondente mistura, e como requisitos da combinação, os valores prescritivos mais exigentes da mínima dosagem de cimento, da máxima razão água/cimento e do teor de ar, se for o caso, bem como da classe de resistência entre os valores de cada uma das classes de exposição ambiental da combinação. Se o cimento não for comum às diferentes classes de exposição, prevalece aquele que satisfizer a classe com os requisitos mais exigentes.

2.2.1.5 - Vida útil de projecto das estruturas de betão armado

Em casos de exposição ambiental com risco de corrosão das armaduras, as prescrições estabelecidas nesta especificação do LNEC, E-464 [45], nomeadamente nos Quadros 2.22 e 2.23, não permitem ter em conta a influência de recobrimentos diferentes dos estabelecidos, de outras composições de betão ou de tempos de vida útil de projecto diferentes de 50 e de 100 anos. Para além disso, na classe XS1, também não é permitido ter em conta a diminuição da acção agressiva com a distância à linha de costa e, na classe XS2, o aumento da acção agressiva com a profundidade. Para considerar essa influência e para tempos de

vida útil de projecto de 50 ou de 100 anos, é necessário respeitar os recobrimentos nominais mínimos estabelecidos nos Quadros 2.22 e 2.23, no caso de 50 anos de vida útil, ou estes mínimos acrescidos de 10 mm, no caso de 100 anos de vida útil. Se se utilizarem os cimentos indicados nos Quadros 2.22 e 2.23 (ou as correspondentes misturas), se se pretender aplicar uma composição não respeitando os limites indicados nestes quadros, ou se se pretender utilizar outros cimentos que não os indicados nos Quadros 2.22 e 2.23 (ou outras misturas), deve recorrer-se ao conceito de desempenho equivalente do betão, em relação à exposição ambiental em causa (XC ou XS), ou à que for mais desfavorável no caso de haver combinação.

Outra hipótese é se os recobrimentos nominais forem menores do que os mínimos previstos nos Quadros 2.22 e 2.23, no caso de 50 anos de vida útil, ou do que estes mínimos acrescidos de 10 mm, no caso de 100 anos de vida útil. Ou se os recobrimentos nominais forem maiores do que os dos Quadros 2.22 e 2.23 e, para 50 anos de vida útil, se pretender aplicar uma composição que não respeite os limites indicados nesses quadros. Nestes casos deve recorrer-se aos métodos de especificação do betão, baseados no desempenho relacionado com a durabilidade que forem aplicáveis à exposição ambiental em causa (XC ou XS), ou à que for mais desfavorável, no caso de haver combinação, seguindo, nomeadamente, a metodologia estabelecida na Especificação LNEC E 465 [47].

2.2.1.6 - Desempenho dum betão

A seguir é tratada a aptidão do conceito de desempenho equivalente dum betão, em relação à resistência à carbonatação ou à penetração dos cloretos, de acordo com a NP EN 206-1 [1].

Numa composição de referência que satisfaça as exigências limite de composição e de resistência mecânica estabelecidas nos Quadros 2.22 e 2.23, para a classe de exposição objecto do estudo de equivalência, e com o cimento de referência indicado para esta classe nestes quadros, são determinadas as propriedades referidas no Quadro 2.28, para esta classe de exposição.

Quadro 2.28 - Propriedades, métodos e provetes de ensaio

Classe de exposição	Propriedades a determinar	Métodos de ensaio	Número e tipo de provetes (mm)
XC1	Carbonatação acelerada Permeabilidade ao oxigénio Resistência à compressão	LNEC E 391	1 provete 150 x 150 x 600
XC2			3 provetes Ø150; h = 50
XC3			3 provetes de 150 x 150 x 150
XC4			
XS1/XD1	Coef. de difusão dos cloretos	LNEC E 463	2 provetes Ø100; h = 50
XS2/XD2	Absorção capilar	LNEC E 393	3 provetes Ø150; h = 50
XS3/XD3	Resistência à compressão	NP EN 12390-3	3 provetes de 150 x 150 x 150

Com a composição de estudo, formulação cujo desempenho se pretende avaliar, procede-se de igual modo. Depois, os resultados obtidos na composição de referência são comparados com os correspondentes valores da composição de estudo e extraídas conclusões sobre a equivalência de comportamento das duas composições, no que respeita à resistência à penetração do dióxido de carbono ou dos cloretos no betão. Também se pode concluir sobre a equivalência da dosagem do ligante específico e da razão A/C, empregues na composição de estudo, relativamente ao correspondente par de valores usado para o betão de referência.

Assim, se os resultados demonstrarem a equivalência da composição de estudo, o fabricante de betão fica autorizado a usar o novo valor mínimo da dosagem de ligante e o novo valor máximo da razão A/C, como limites de composição para satisfazer as exigências da classe de exposição considerada, desde que os constituintes do ligante não se alterem, tanto no que se refere à sua origem como às suas características relevantes. Uma vez que os provetes de betão são ensaiados em condições higrométricas normalizadas, em regra não coincidentes com as condições de humidade relativamente implícitas nas classes de exposição, admite-se que a equivalência de comportamento das duas composições se mantém noutras condições higrométricas [45].

Nas composições de referência e de estudo, os materiais a usar devem ter estabelecido a sua aptidão como constituintes do betão e ser fornecidos pelo fabricante de betão. Os agregados e as respectivas proporções devem ser iguais nas composições de referência e de estudo. As composições de referência e de estudo são da responsabilidade do fabricante de betão, cabendo ao Laboratório de Ensaios verificar se a composição de referência satisfaz as exigências, quanto à máxima razão água/cimento, mínima dosagem de cimento e mínima classe de resistência do betão, expressas nos Quadros 2.22 e 2.23, no que respeita à classe de exposição ambiental considerada. Em cada uma das composições de referência e de estudo, designadas por composições principais, o Laboratório fará variar de $\pm 5\%$ a dosagem de ligante, mantendo a dosagem dos demais constituintes, com excepção do agregado mais fino, onde se fará o acerto da variação de volume do ligante. Estas composições são designadas secundárias, podendo assim também ser de referência ou de estudo.

2.3 - Execução de Estruturas em Betão

A NP ENV 13670-1 [44] tem três funções: assegurar a ligação entre o projecto e a execução; fornecer requisitos técnicos para a execução de uma estrutura de betão; servir de lista de verificação que possa assegurar que o construtor possui toda a informação técnica necessária para a execução da estrutura. A norma pressupõe a disponibilidade de um projecto completo da estrutura; uma gestão do projecto incumbida pela supervisão das obras; uma gestão do estaleiro que se encarregará da organização das obras. No caso de serem utilizados elementos prefabricados, pressupõe-se ainda a disponibilidade de um projecto específico; a disponibilidade de uma coordenação; a especificação técnica para sua montagem; a existência de um responsável.

Os trabalhos são conduzidos com a perícia necessária, equipamento e recursos adequados, partindo-se do princípio que as boas regras da arte, geralmente aceites para as várias actividades, são conhecidas e respeitadas. Considera-se que o construtor cumprirá as disposições válidas em relação à qualificação do pessoal, aspectos de saúde e de segurança.

Após a conclusão, a estrutura será utilizada de acordo com o previsto, prevendo operações de inspecção e manutenção, de modo a permitir alcançar a vida útil prevista, detectar pontos fracos e comportamento inesperado.

2.3.1 - Objectivo

A NP ENV 13670-1 [44] fornece requisitos comuns para a execução de estruturas em betão, projectos de estruturas e projectos de betão de estruturas mistas. Fornece ainda requisitos adicionais os quais, se requeridos, constam das especificações de projecto. Permite, também, que as especificações do projecto estabeleçam requisitos específicos relevantes para determinada estrutura, sendo aplicável tanto a estruturas provisórias como definitivas. Devem ser considerados requisitos adicionais ou diferentes quando se utilizar betão leve; outros materiais ou constituintes; tecnologias especiais ou projectos inovadores.

Não se enquadram, no âmbito desta Norma, pequenas obras simples em betão e estruturas secundárias de importância menor, entre outras: não é aplicável a elementos em betão, usados unicamente como equipamento de execução; não engloba especificação à produção e conformidade do betão; não é aplicável à produção de elementos prefabricados em betão; não engloba elementos em betão para trabalhos geotécnicos, como estacas de fundação, ancoragens, paredes moldadas, etc; não engloba saúde e segurança; não estabelece requisitos, garantia da qualidade, qualificação de pessoal. Por fim, a presente norma não cobre questões contratuais. A NP ENV 13670-1 [44] refere ainda que as Normas Nacionais aplicáveis deverão ser indicadas nas especificações de projecto.

2.3.2 - Documentação

Quanto às especificações de projecto, considera-se que estas incluem informações e requisitos técnicos para execução das obras e os acordos estabelecidos durante a execução; as aprovações técnicas europeias e disposições válidas.

Antes do início de qualquer obra, as especificações de projecto devem estar completas e disponíveis: procedimento para alterações em requisitos acordados; requisitos para distribuição, procedimento e registo de documentos técnicos usados nas obras. Se for requerido plano da qualidade deve constar nas especificações de projecto e o plano de controlo da qualidade deve estar disponível no estaleiro. A documentação especial, tipo e âmbito devem estar estabelecidos nas especificações de projecto. Nas classes de inspecção 2 e 3, é requerida a documentação de inspecção.

2.3.3 - Cofragens

Os cimbres e as cofragens devem ser dimensionados e construídos de modo a que sejam capazes de resistir a qualquer acção durante a construção; rígidos para assegurar que as tolerâncias especificadas para a estrutura são satisfeitas e a integridade do elemento estrutural não é afectada. A forma, função, aspecto e durabilidade não devem ser afectados, pelo comportamento dos cimbres e das cofragens ou pela sua remoção. Os cimbres e as cofragens devem estar em conformidade com as Normas Europeias.

Os produtos descofrantes não podem ser prejudiciais ao betão, às armaduras, às cofragens e não podem ter efeitos nocivos no meio ambiente. Não podem afectar a qualidade da superfície, cor e revestimentos subsequentes. E devem estar de acordo com as especificações do produto ou disposições válidas no local de construção.

Quando requerido, devem ser fornecidos os requisitos para a montagem, ajuste, contra-flecha intencional, carregamento, desmontagem, descofragem e desmantelamento. Deve ainda tomar-se em consideração a deformação, durante e após a betonagem, para prevenir a fissuração do betão jovem, limitando a deformação ou o assentamento e retardando a sua presa.

As cofragens devem conservar o betão na forma pretendida até este endurecer. Devem estar limpas e ser suficientemente estanques para evitar a perda de finos e reduzir a saída de água do betão. Para o betão aparente, o tratamento das suas superfícies deve ser o adequado.

Quando se utiliza cofragem deslizante, deve ter-se em conta as propriedades do material constituinte e prever meios de controlo da geometria das obras. Deve ainda assegurar-se que o recobrimento exigido respeita as tolerâncias. Em cofragens especiais, os correspondentes requisitos devem ser apresentados nas especificações do projecto. Se forem requeridos acabamentos especiais, estes devem ser estabelecidos nas especificações de projecto. O acabamento da superfície depende do tipo de cofragem, betão, da execução e da protecção após betonagem.

As peças embebidas devem ser fixadas firmemente, de modo a assegurar a manutenção da sua posição durante a betonagem e a compactação; não introduzir acções inaceitáveis na estrutura; não reagir de forma prejudicial com o betão, com a armadura ordinária ou pré-esforçada; não produzir descolorações ou manchas inaceitáveis na superfície; não alterar o desempenho funcional e a durabilidade do elemento estrutural; não impedir a colocação e a compactação adequada do betão fresco. Qualquer peça embebida, deve ser suficientemente resistente e rígida para manter a sua forma durante a betonagem. Nas inserções provisórias, o material deve ser de qualidade equivalente ao do betão circundante.

As cofragens e os cimbres não devem ser desmontados antes do betão ter adquirido a resistência suficiente para as superfícies resistirem, suportar as acções impostas e evitar deformações superiores às tolerâncias especificadas. A descofragem deve ser feita de forma a não submeter a estrutura a choques, sobrecargas ou danos. Deve garantir-se que outros elementos não fiquem submetidos a cargas excessivas. A estabilidade deve ser mantida. Os procedimentos para escoramento e para reescoramento devem ser pormenorizados em instruções próprias. O tempo da sua permanência deve ser calculado de acordo com os requisitos [48] (Figuras 2.23 e 2.24).



Figura 2.23 - Cofragem metálica de paredes e muros [41]



Figura 2.24 - Cofragem metálica de pilares [41]

2.3.4 - Armaduras e pré-esforço

O aço das armaduras deve estar em conformidade com a NP ENV 13670-1 [44] e com as disposições válidas no local da construção. Cada produto deve ser identificável com clareza. Os dispositivos de amarração e os acopladores devem estar em conformidade com o Eurocódigo 2 [43] ou disposições válidas no local da construção. A superfície da armadura deve estar livre de ferrugem solta e de substâncias prejudiciais que possam afectar o aço, o betão ou a aderência entre ambos. Só devem ser utilizadas armaduras de aço galvanizado com um cimento que não afecte desfavoravelmente a aderência à armadura galvanizada.

O corte e a dobragem do aço devem respeitar as especificações de projecto: a dobragem deve ser efectuada a um ritmo uniforme; quando autorizado, é possível a dobragem do aço a temperaturas inferiores a $-5\text{ }^{\circ}\text{C}$; a menos que permitido pelas especificações de projecto, não é tolerada a dobragem com recurso ao aquecimento dos varões. Para dobragem de varões, o diâmetro do mandril usado deve ser adequado ao tipo de aço usado. Para armaduras soldadas e redes electrosoldadas dobradas após a soldadura, o diâmetro do mandril deve ser adequado. Os varões de aço, redes electrosoldadas, painéis prefabricados de varões não devem ser danificados durante o transporte e armazenagem, manuseamento e colocação nas cofragens. A desdobragem de varões só deve ser autorizada se for utilizado equipamento especial para limitar concentrações de tensões e se o procedimento de desdobragem tiver sido aprovado. A autorização pode ser concedida nas especificações de projecto, nas disposições válidas no local da construção. Não devem ser usadas armaduras provenientes de rolos, a não ser que exista equipamento apropriado e tenham sido aprovados procedimentos de rectificação [49].

A soldadura deve ser efectuada satisfazendo as disposições válidas no local de construção. Só é permitido soldar aço, conforme o aço classificado como soldável, nas disposições válidas no local da construção. A soldadura não deve ser efectuada nas zonas de dobragem dos varões nem perto delas. Devem ser respeitados os limites indicados no Eurocódigo 2 [43]. É permitida a soldadura por pontos para a montagem das armaduras, desde que não existam contra-indicações nas disposições válidas no local da construção. Os varões devem ser emendados por sobreposição, acopladores ou soldadura, de acordo com o Eurocódigo 2 [43] ou com disposições válidas no local da construção.

Na ligação e colocação das armaduras, deve respeitar-se as especificações do projecto. É necessária especial atenção ao recobrimento e às armaduras nas proximidades de aberturas de pequena dimensão que não foram contempladas no projecto de estrutura. As especificações de projecto deverão dar indicações quanto à configuração e ao espaçamento dos varões, bem como precauções a ter em zonas de grande densidade de armadura. As armaduras devem ser posicionadas e fixadas para que a sua posição final cumpra as tolerâncias e a ligação efectuada com arame ou por soldadura por pontos. O recobrimento

deve ser assegurado usando espaçadores. Só é permitida a utilização de espaçadores de aço em contacto com a superfície do betão em ambientes secos, por exemplo classe de exposição XO [44].

Os requisitos que se seguem aplicam-se às construções em betão pré-esforçado usando os seguintes procedimentos: pré-esforço aderente por pré-tensão; pré-esforço aderente por pós-tensão; pré-esforço por pós-tensão não aderente, interno ou externo. Os sistemas de pré-esforço por pós-tensão devem estar em conformidade com Aprovações Técnicas Europeias ou com disposições válidas no local da construção.

As baínhas e outros materiais, que não o aço, devem estar em conformidade com disposições válidas no local de construção. As baínhas para armaduras não aderentes devem estar em conformidade com as normas de produto aplicáveis, ou disposições válidas no local da construção [50].

O aço das armaduras de pré-esforço (arames, cordões, varões) e das armaduras não aderentes deve estar em conformidade com o Eurocódigo 2 [43], ou com disposições válidas no local da construção. Outros materiais susceptíveis de serem usados para pré-esforçar, como fibras de carbono, vidro ou aramida, devem estar em conformidade com Aprovações Técnicas Europeias ou com disposições válidas no local da construção. Deve verificar-se se os elementos de ancoragem e acessórios estão especificados ou acordados. Os apoios das armaduras de pré-esforço devem ser inócuos, ter rigidez suficiente, fixação estável e não danificar as baínhas. O espaçamento dos apoios das armaduras deve ser tal que mantenha as baínhas no alinhamento e nível pretendidos.

Os lubrificantes, ceras e outros produtos, devem estar conforme o Eurocódigo 2 [43]. As especificações de projecto e documentação de execução e os documentos de identificação e de aprovação de materiais ou armaduras devem estar disponíveis no local da construção. Os materiais entregues no local devem ser acompanhados por uma guia de remessa. Não devem ser aceites materiais sem documentação apropriada. Guias de remessa, relatórios e não conformidades devem ser incluídos no relatório do pré-esforço.

Os materiais sensíveis à corrosão, aço para pré-esforço, baínhas, dispositivos de ancoragem, acopladores, armaduras pré-fabricadas e fabricadas no estaleiro, devem ser protegidos de influências prejudiciais durante o transporte e armazenamento e também enquanto estiverem colocados na estrutura, antes da protecção definitiva. Materiais que tenham sofrido corrosão significativa devem ser substituídos por materiais conformes. O cimento, as adições no estado seco e os adjuvantes para as caldas devem ser protegidos da água e da humidade, no fornecimento e armazenamento no estaleiro.

As armaduras de pré-esforço devem ser montadas de acordo com as Aprovações Técnicas Europeias ou disposições válidas no local da construção. O tipo e a classe do aço de pré-esforço devem ser registados nos relatórios de inspecção. Não é permitida a soldadura de aço de pré-esforço ou de ancoragens, corte a maçarico ou soldadura de aço nas proximidades de aço de pré-esforço. Não é permitida soldadura de espirais de distribuição de tensão, chapas de ancoragem e a soldadura por pontos de chapas perfuradas, excepto se existirem especificações de projecto. As baínhas e as suas juntas devem ser seladas como protecção contra a penetração de água. As armaduras de pré-esforço devem ser colocadas e fixadas de modo a que conservem a sua posição dentro das tolerâncias admissíveis. As armaduras devem ter uma parte rectilínea à entrada da ancoragem das uniões. As armaduras de pré-esforço devem ser adequadamente protegidas contra a corrosão.

Devem ser previstas purgas em cada extremidade das baínhas e pontos onde podem acumular água ou ar. Nas baínhas de maior comprimento, podem ser necessárias purgas ou orifícios em posições intermédias. As purgas devem ser marcadas para identificar cada armadura. As purgas e baínhas devem ser fixadas para suportarem os efeitos da colocação e compactação do betão. As armaduras não aderentes devem ser seladas como protecção contra a penetração de humidade.

As operações de aplicação do pré-esforço devem seguir o programa acordado. Os procedimentos devem estar disponíveis no estaleiro e os dispositivos de aplicação do pré-esforço devem ser os permitidos pelo sistema. Os registos de calibração dos dispositivos de medição da força devem estar igualmente disponíveis no estaleiro. A

aplicação ou a transferência do pré-esforço deve ser efectuada progressivamente e deve ser superior ou igual à resistência mínima requerida pelo sistema de pré-esforço. É importante dispor-se de adequada resistência do betão nas zonas de ancoragem. Se na pós-tensão não se conseguir atingir uma tolerância de $\pm 5\%$ da força total de pré-esforço especificada, ou de $\pm 10\%$ da força especificada para uma única armadura, devem ser tomadas medidas. O mesmo se diga se na pré-tensão não se conseguir atingir tolerância de $\pm 3\%$ da força total de pré-esforço especificada, ou de $\pm 5\%$ da força especificada para uma única armadura. Os resultados da aplicação do pré-esforço e a sua conformidade ou não conformidade devem ser registados num relatório de inspecção. Se não puder ser efectuada no prazo devido, devem ser tomadas medidas protectoras de carácter provisório, que não devem afectar a aderência nem ser prejudiciais ao aço ou ao betão [44].

Não é permitido pré-esforço com temperaturas ambientais a $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$, tal como não deve ser efectuada com temperaturas do betão “in situ” inferiores a $+5\text{ }^{\circ}\text{C}$, excepto com disposições válidas no local da construção. Não é permitido o corte dos extremos das armaduras ou injeção da calda. Todos estes trabalhos devem ser adiados até aprovação da revisão de aplicação do pré-esforço.

No caso das armaduras interiores, os cuidados e procedimentos a seguir são os mesmos. Devem ser estabelecidas instruções escritas para a preparação e execução das medidas de protecção. Os resultados de inspecção devem estar registados no relatório dessa mesma inspecção. As zonas de ancoragem e as cabeças de protecção devem ser protegidas, tal como as armaduras. As extremidades das armaduras devem estar protegidas contra corrosão.

As armaduras exteriores devem estar protegidas com calda. As baínhas e ancoragens das armaduras devem ser preenchidas com um lubrificante ou cera não corrosiva, conforme o Eurocódigo 2 [43].

O volume injectado deve ser da ordem de grandeza do volume livre teórico da baínha. Qualquer vazio nas baínhas deve ser expulso pela injeção da calda sob vácuo ou por

re-injecção. Na injecção por vácuo, o volume livre nas baínhas deve ser medido. A quantidade total de calda injectada deve ser comparável com este volume.

A lubrificação deve ser levada a cabo com um débito contínuo e uniforme. O volume injectado, como vimos, deve ser da ordem de grandeza do volume livre teórico da baínha. Deve ser tida em consideração a variação de volume do lubrificante em função da temperatura. Qualquer perda inadvertida de lubrificante pelas baínhas deve ser evitada, selando-as sob pressão [44].

2.3.5 - Betonagem

O betão deve ser especificado e produzido, de acordo com a NP EN 206-1 [1] e inspeccionado no local da sua colocação. Devem ser minimizadas durante a carga, transporte e descarga, quaisquer alterações prejudiciais do betão fresco, como segregação, exsudação, perda de pasta ou quaisquer outras alterações. Quando requerido, devem recolher-se ensaios de identidade no local de colocação, ou no caso do betão pronto, no local de entrega.

Deve estabelecer-se, para as classes de inspecção 2 e 3, um plano de betonagem e inspecção para a execução, incluindo todas as acções importantes. Quando requerido no projecto, é necessário efectuar um ensaio inicial. Os trabalhos preparatórios devem estar concluídos, inspeccionados e documentados antes do início da betonagem. O betão aplicado directamente contra o terreno ou rocha, deve ser protegido de contaminação e da perda de água. É importante não permitir a congelação do betão antes de ter resistência suficiente. Para uma temperatura ambiente inferior a 0°C, no momento da betonagem ou durante o período de cura, devem ser tomadas precauções para proteger o betão contra danos resultantes da congelação. Para uma temperatura ambiente elevada, deve ter-se em conta a protecção do betão contra efeitos prejudiciais.

Todas as armaduras e elementos devem apresentar-se adequadamente embebidos, de acordo com tolerâncias do recobrimento necessárias ao alcance da resistência e da

durabilidade pretendidas. Deve assegurar-se uma compactação adequada nas mudanças de secção, zonas apertadas, saliências, zonas de elevada densidade de armadura e juntas de construção. O ritmo de colocação e compactação deve ser suficientemente elevado para evitar juntas frias, e suficientemente baixo para evitar assentamentos excessivos ou sobrecarga nos cimbres e nas cofragens. Pode formar-se uma junta fria durante a aplicação do betão, se o betão da frente da betonagem fizer presa antes da aplicação e compactação da camada seguinte. Podem ser necessários requisitos adicionais para a colocação e a cadência de colocação do acabamento da superfície. A segregação deve ser minimizada durante a colocação e compactação. O betão deve ser protegido contra a radiação solar, vento forte, congelação, água, chuva e neve, durante a colocação e compactação. O betão leve não deve ser bombado, a não ser que, comprovadamente, não afecte significativamente a resistência do betão endurecido.

O betão nas idades jovens deve ser objecto de cura e protecção para minimizar retracção plástica, assegurar resistência superficial adequada, durabilidade adequada na zona superficial, resistência à congelação e protecção contra vibrações prejudiciais, impacto ou danos. Para o betão de alta resistência, deve ser prestada especial atenção à prevenção da fissuração por retracção plástica. Os métodos de cura devem permitir baixas taxas de evaporação da superfície do betão ou manter esta permanentemente húmida. A cura natural é suficiente quando as condições atmosféricas, durante o período de cura requerido, forem tais que a taxa de evaporação da superfície do betão seja baixa, por exemplo, em clima húmido, chuvoso ou enevoado. Logo que a compactação e as operações de acabamento terminem, a cura deve ser iniciada sem demora. Para evitar fissuração por retracção plástica em superfícies livres, deve ser executada uma cura temporária antes do acabamento. A duração da cura deve ser em função do desenvolvimento das propriedades do betão na zona superficial. Assim, para as classes de exposição ambiental X0 e XC1, a duração mínima da cura deve ser de 12h, desde que o início de presa não exceda 5h e a temperatura da superfície do betão seja igual ou superior a 5°C. As disposições válidas no local da construção são as seguintes: o betão utilizado em ambientes de classes de exposição diferentes de X0 e XC1, deve ser curado até atingir 50% da resistência característica à compressão; este requisito pode ser transformado em períodos de cura nas normas

nacionais ou em disposições válidas no local da construção. Não é permitida a utilização de membranas de cura em juntas de construção, em superfícies a tratar ou superfícies em que seja pretendida a aderência a outros materiais, excepto se estes forem totalmente removidos antes da operação subsequente, ou se se provar que não têm efeitos prejudiciais nas operações subsequentes. No caso das superfícies com requisitos especiais de acabamento, tais membranas não devem, igualmente, ser utilizadas, salvo permissão contida nas especificações do projecto. A temperatura da superfície não deve descer abaixo de 0°C, até que o betão na superfície tenha atingido uma capacidade tal que consiga resistir à acção do gelo sem sofrer danos (em geral, $f_c > 5$ MPa). A não ser que haja especificação em contrário, nas disposições válidas no local da construção, a temperatura máxima do betão num elemento não deve exceder 65°C [51].

Após a descofragem, as superfícies devem ser inspeccionadas de acordo com a classe de inspecção, para avaliar a sua conformidade com os requisitos, sendo necessário a sua protecção contra danos e deteriorações durante a construção. Qualquer requisito respeitante aos ensaios “in situ” do betão endurecido, à sua frequência e aos critérios de conformidade, deve estar de acordo com as especificações de projecto.

Os métodos de execução especiais exigem ser especificados. Relativamente ao betão especial, tal como betão de agregados leves, betão de elevada resistência, betão de agregados pesados, é necessário que esteja conforme com as disposições válidas. O betão para cofragens deslizantes deve ter presa adequada, equipamento adequado e métodos que garantam a obtenção do recobrimento das armaduras especificado, da qualidade do betão e do acabamento da superfície.

A NP ENV 13670-1 [44] indica as operações de construção que envolvam componentes estruturais pré-moldados no estaleiro, ou produtos estruturais prefabricados, desde a sua recepção no estaleiro até à conclusão da sua instalação e à recepção definitiva. Quando se utilizarem componentes pré-moldados, deve ser verificada a coordenação entre estes elementos e o comportamento estrutural do conjunto da estrutura. Quanto aos produtos prefabricados, desde a produção em fábrica até à recepção no estaleiro, é obrigatório que

satisfaçam as Normas Europeias de produto ou Aprovações Técnicas Europeias, ou, no caso da sua ausência, disposições válidas no local da construção. Importa referir que os componentes pré-moldados devem ser considerados como produtos prefabricados, de acordo com a Norma Europeia de produto aplicável. Componentes não conformes com qualquer norma não devem ser considerados como produtos prefabricados. Refira-se que os requisitos para operações subseqüentes são os mesmos que para produtos prefabricados. Em relação ao manuseamento, armazenagem e protecção dos produtos prefabricados exige-se que seja efectuado de acordo com as especificações de projecto.

É necessário disponibilizar-se um esquema definindo pontos de apoio e as correspondentes forças, disposições do sistema de elevação e disposições especiais. Deve ainda estar disponível a massa total de cada produto prefabricado e qualquer possível desvio.

É obrigatório que as instruções de armazenamento definam o local de armazenamento e os pontos de apoio admissíveis, a altura máxima das pilhas de armazenamento, as medidas de protecção e disposições necessárias para assegurar a estabilidade.

Os requisitos para a colocação e ajustamento dos produtos prefabricados devem constar das especificações de montagem. Por sua vez, antes do fornecimento, é necessário disponibilizar-se especificações de manuseamento e eventual armazenagem no estaleiro. Quanto ao programa de trabalhos, este deve estar disponível no estaleiro, não devendo iniciar a montagem sem verificar os pontos anteriores.

As especificações de montagem devem definir as disposições dos apoios, os escoramentos necessários e as disposições de estabilidade provisórias. Por seu turno, importa que os acessos e posições de trabalho constem das especificações de montagem para guiamento do produto prefabricado e alcance dos equipamentos de elevação, devendo ser tomadas medidas de execução que assegurem a eficácia e estabilidade dos apoios provisórios e definitivos, minimizando o risco de possíveis danos e de comportamento inadequado. Podem ser necessárias informações especiais para assegurar uma instalação segura e para evitar danos acidentais. Quanto à montagem, exige-se que esta esteja de acordo com planos

e pormenores dos desenhos de montagem e a sequência de operações do programa de trabalhos. Refira-se que, durante a instalação, devem ser verificadas a posição correcta dos produtos prefabricados e a dimensão exacta dos apoios, condições das juntas e a disposição global da estrutura e, caso seja necessário, importa fazer todos os ajustamentos devidos [52].

2.3.6 - Trabalhos de acabamento

Deve ser efectuada uma inspecção antes da execução das juntas e antes de qualquer trabalho de acabamento. Este deve ter, como orientação, os requisitos estabelecidos nas especificações de montagem e condições climáticas.

É de salientar que a colocação de quaisquer armaduras adicionais, tais como a betonagem no estaleiro, devem estar em conformidade com os requisitos da NP ENV 13670-1 [44].

Quaisquer elementos de ligação exigem estar intactos, correctamente colocados e adequadamente executados, para assegurarem um comportamento estrutural eficaz. As ligações devem ser roscadas, coladas e executadas, de acordo com a tecnologia específica dos materiais utilizados. Constam das especificações de projecto requisitos para assegurar que as juntas possuam uma dimensão compatível com o método de selagem; as inserções de aço, usadas para ligação de juntas, devem estar adequadamente protegidas contra a corrosão e acção do fogo, através de uma selecção adequada dos materiais de revestimento e as ligações estruturais soldadas deverão ser executadas com materiais soldáveis e submetidas a inspecção.

2.3.7 - Tolerâncias geométricas

A estrutura deve respeitar os desvios máximos permitidos, para evitar efeitos prejudiciais em termos de resistência mecânica e estabilidade, em situações provisórias e de serviço; comportamento em serviço durante a utilização da estrutura e compatibilidade geométrica entre a estrutura e a colocação dos seus componentes não estruturais. Podem ser

desprezados pequenos desvios acidentais que não tenham consequências significativas no comportamento da estrutura terminada. Fornecem-se valores numéricos para tolerâncias estruturais, isto é, tolerâncias que influenciam a segurança da estrutura. Neste sentido, definem-se duas classes de tolerância estrutural. A NP ENV 13670-1 [44] não inclui os valores permitidos para a classe de tolerância 2 que foi definida para permitir a especificação de valores nacionais. Excepto se estiver estabelecido nas especificações de projecto, aplica-se a classe de tolerância 1, classificada como classe de tolerância normal. A classe de tolerância 2 deve ser feita em conjunto com a classe de inspecção 3. Refira-se que as tolerâncias apresentadas na Norma, em pilares, vigas e secções, são tolerâncias estruturais normativas consideradas essenciais para a resistência mecânica e estabilidade das estruturas de modo a cumprir os requisitos atrás apresentados. Nesta Norma são fornecidos ainda valores para outras tolerâncias, que podem ser estruturais ou não estruturais, dependendo da função do elemento. Note-se que as especificações de projecto deverão referir se estas tolerâncias são aplicáveis. Os requisitos das tolerâncias geométricas referem-se à estrutura concluída. Quando forem incorporados componentes numa estrutura, qualquer verificação intermédia destes componentes depende da verificação final da estrutura concluída. É necessário que quaisquer requisitos de tolerâncias especiais estejam identificados nas especificações de projecto, que deverá referir as modificações dos desvios indicados na NP ENV 13670-1 [44], o tipo de desvio que deve ser verificado, em conjunto com parâmetros definidos e valores permitidos e se são aplicáveis a componentes importantes ou a componentes específicos identificados para o efeito. Não são definidas tolerâncias quando se pretende que a transmissão de forças se faça por contacto total entre as superfícies, tal como para elementos betonados debaixo de água. É de salientar que se determinado desvio geométrico for objecto de requisitos diferentes, aplica-se a tolerância mais restrita. Está fora do âmbito, a combinação de tolerâncias de construção e de deformações estruturais.

2.3.8 - Fundações

As fundações podem ser constituídas por fundações directas no terreno, maciços de encabeçamento de estacas, etc. As fundações directas no terreno podem ser betonadas “in

situ”, ou executadas com elementos prefabricados de betão. Neste caso, os requisitos para tolerâncias de fundações profundas, tais como estacas, paredes moldadas, diafragmas, ancoragens especiais, etc., não são indicados na NP EN 13670-1 [44].

2.3.9 - Inspeção

A supervisão e a inspeção devem assegurar que as obras são executadas em conformidade com a NP EN 13670-1 [44] e com as disposições das especificações de projecto. A inspeção refere-se à verificação da conformidade dos produtos e dos materiais a usar, bem como da execução dos trabalhos (Quadro 2.29).

Quadro 2.29 - Requisitos da inspeção de materiais e produtos

Item	Classe de inspeção 1	Classe de inspeção 2	Classe de inspeção 3
Materiais para cofragens	Inspeção visual	De acordo com as especificações de projecto	
Aço para armaduras passivas	De acordo com a ENV 10080 e disposições válidas no local da construção		
Aço para armaduras de pré-esforço	Não aplicável	De acordo com a ENV 10138 ou com as disposições válidas no local da construção	
Betão fresco, pronto ou fabricado no estaleiro	De acordo com o prEN 206:1997 e com as especificações de projecto. Deve ser apresentada uma guia de remessa na ocasião da entrega.		
Outros itens	De acordo com as especificações de projecto		
Produtos prefabricados	De acordo com a norma		
Relatório de inspeção	Não requerido	Requerido	

Existem 3 classes de inspeção: Classe de inspeção 1; Classe de inspeção 2; Classe de inspeção 3. A classe de inspeção pode dizer respeito à estrutura no seu todo, a componentes ou elementos da estrutura ou a certos materiais/tecnologias usados na construção. Permitem especificar a inspeção com base na importância da componente/estrutura e da complexidade da sua execução, tendo em vista a sua capacidade para desempenhar a função. A classe de inspeção a usar deve ser fixada nas especificações de projecto. A presente norma não trata a competência e o grau de independência do pessoal de inspeção. Quaisquer requisitos específicos são apresentados nas especificações

de projecto ou nas disposições válidas no local da construção. Utilizando betão de composição prescrita, as propriedades relevantes devem ser avaliadas por intermédio de ensaios.

Antes da betonagem, as inspecções devem englobar: geometria das cofragens; estabilidade dos cimbres, das cofragens e das suas fundações; impermeabilidade das cofragens e dos seus constituintes; remoção de detritos (poeiras, neve ou gelo e resíduos de arame de amarração na secção a betonar); tratamento das faces das juntas de construção; remoção da água da base dos moldes, excepto quando se seguirem procedimentos para betonagem debaixo de água ou procedimentos para deslocação da água sem que esta se misture com o betão; preparação da superfície das cofragens; aberturas e caixas salientes.

A resistência do betão deve ser estimada para verificar a possibilidade de remover os cimbres e as cofragens. Por seu lado, a estrutura deve ser examinada para assegurar que as inserções temporárias foram removidas. Antes do início das operações da betonagem, importa confirmar se as armaduras estão na posição e com espaçamento especificados, se o recobrimento está de acordo com as especificações, se as armaduras não estão contaminadas por óleos, gordura, tinta ou outras substâncias prejudiciais e estão adequadamente amarradas e fixadas, de forma a evitar o seu deslocamento durante a betonagem e se o espaçamento entre os varões é suficiente para permitir a colocação e compactação do betão. Nas juntas de construção, há que verificar se os varões de espera estão correctamente colocados e ver a identificação dos materiais e a conformidade com as especificações.

Antes do início das operações da betonagem, as inspecções devem abranger: posição das armaduras, baínhas, purgas, drenos, ancoragens e acopladores, em relação às especificações de projecto, incluindo o recobrimento e o espaçamento das armaduras; fixação das armaduras e das baínhas, incluindo as disposições para assegurar a conveniente resistência contra a flutuação e a estabilidade dos seus apoios; verificação de que baínhas, purgas, ancoragens e acopladores e a correspondente selagem não estão danificados; verificação de

que armaduras, ancoragens e acopladores não estão corroídos; verificação da limpeza das baínhas, ancoragem e acoplamentos.

Deve ser assegurada a disponibilidade, no estaleiro, dos documentos e equipamento, de acordo com o programa de pré-esforço. Antes da aplicação do pré-esforço, ou antes da transmissão do pré-esforço ao betão, é necessário que a resistência real do betão seja verificada, comparando-a com a resistência pretendida. Deve ser verificada a calibração dos macacos. Para temperatura baixa, verificar a conformidade com a NP EN 13670-1 [44].

Antes do início da injeção, a inspeção deve incluir: ensaios de preparação da calda; verificação das baínhas sobre a sua aptidão, para receber a calda, em todo o seu comprimento, livres de materiais prejudiciais, por exemplo água, gelo; verificação e identificação das purgas; operacionalidade do equipamento; verificação da mistura e a quantidade de calda para ver se é suficiente para haver extravasamento; resultados de quaisquer injeções de ensaios experimentais em baínhas representativas.

Durante a injeção, a inspeção deve incluir: ensaios de conformidade da calda fresca (fluidez, segregação); características do equipamento e da calda; pressões efectivas durante a injeção; ordem das operações de injeção de ar e lavagem; precauções tomadas para manter as baínhas limpas; ordem das operações de injeção; acções na eventualidade de incidentes e em caso de condições climáticas desfavoráveis; localização e os pormenores de qualquer re-injeção.

A inspeção e ensaios devem ser planeados, executados e documentados, de acordo com a classe de inspeção (Quadro 2.30). Refira-se aqui que a inspeção de base consiste numa verificação contínua da conformidade e das regras de boa execução. Antes da montagem e mediante uma inspeção inicial, deve ser verificada a existência de condições adequadas no estaleiro. Antes da descarga, deve proceder-se a uma inspeção visual inicial dos produtos prefabricados. Logo que possível, após a entrega, importa que os produtos prefabricados sejam inspeccionados para aceitação. Quando a inspeção revelar uma não conformidade, exige-se o desencadeamento de acções apropriadas para assegurar que a estrutura se mantém apta para o fim a que se destina [44] (Quadros 2.31 a 2.39).

Quadro 2.30 - Requisitos do planeamento, exame e documentação [44]

Item	Classe de inspecção 1	Classe de inspecção 2	Classe de inspecção 3
Planeamento da inspecção		Plano de inspecção, procedimentos e instruções conforme especificado. Acções a empreender no caso duma não conformidade.	Plano de inspecção, procedimentos e instruções conforme especificado. Acções a empreender no caso duma não conformidade.
Inspeção	Inspeção de base	Inspeção de base e inspecção aleatória pormenorizada.	Inspeção pormenorizada em cada betonagem.
Documentação	Registos de qualquer acontecimento pouco usual. Relatórios de todas as não conformidades e das acções correctivas.	Todos os documentos de planeamento. Registos de todas as inspecções. Relatório de todas as não conformidades e das acções correctivas.	Todos os documentos de planeamento. Registos de todas as inspecções. Relatório de todas as não conformidades e das acções correctivas.

Quadro 2.31 - Guia para a selecção das classes de inspecção [44]

Item	Classe de inspecção 1	Classe de inspecção 2	Classe de inspecção 3
Tipo de construção	- Edifícios ≤ 2 andares	- Pontes correntes - Edifícios > 2 andares	- Pontes especiais - Edifícios de grande altura - Grandes barragens - Edifícios para centrais nucleares - Reservatório
Tipo de elementos estruturais	- Lajes e vigas em betão armado com vãos < 10 m - Pilares e paredes simples - Estruturas de fundações simples	- Lajes e vigas em betão armado com vãos > 10 m - Pilares e paredes esbeltos - Maciços de encabeçamento de estacas - Arcos < 10 m	- Arcos e abóbadas em betão armado - Elementos fortemente comprimidos - Fundações delicadas e complicadas - Arcos > 10 m
Tipo de construção /tecnologias usadas	- Estruturas com elementos prefabricados	- Estruturas com elementos prefabricados	- Estruturas com elementos prefabricados - Tolerâncias especiais
Tipo de materiais em obra: Betão conforme o prEN 206:1997: - Classe de resistência - Classe de exposição - Armaduras	Até C25/30 inclusive X0; XC1; XC2; XA1; XF1 Passivas	Qualquer classe de resistência Qualquer classe de exposição Passivas e de pré-esforço	Qualquer classe de resistência Qualquer classe de exposição Passivas e de pré-esforço

Quadro 2.32 - Inspeção das operações anteriores à betonagem e da produção [44]

Item	Método	Requisito	Classe de inspeção 1	Classe de inspeção 2	Classe de inspeção 3
Especificação do betão	Visual	prEN 206:1997	Antes do início da produção	Antes do início da produção	Antes do início da produção
Inspeção da produção de betão	Exame dos certificados quando disponíveis	Certificado de controlo da produção emitido por um organismo de certificação reconhecido (de acordo com o prEN 206:1997)	Novo fornecedor e em caso de dúvida	Novo fornecedor e em caso de dúvida	Novo fornecedor e em caso de dúvida
	Inspeção visual quando não houver inspeção por entidade independente	Em alternativa, inspeção da central de produção (de acordo com o prEN 206:1997)	Novo fornecedor e em caso de dúvida	Novo fornecedor e em caso de dúvida	Novo fornecedor e em caso de dúvida
Planeamento da produção	Inspeção visual	Informação dizendo respeito à produção		Informação escrita	Informação escrita

Quadro 2.33 - Inspeção do betão fresco [44]

Assunto	Método	Requisito	Classe de inspeção 1	Classe de inspeção 2	Classe de inspeção 3
Guia de remessa quando aplicável	Inspeção visual	Conformidade com a especificação	A cada entrega	A cada entrega	A cada entrega
Consistência do betão	Inspeção visual	Consistência conforme exigido	Aleatória	A cada entrega	A cada entrega
	Usando um ensaio de consistência adequado	Conformidade com a classe de consistência	Só em caso de dúvida	Quando se colherem amostras para ensaios de betão endurecido e em caso de dúvida	Quando se colherem amostras para ensaios de betão endurecido e em caso de dúvida
Homogeneidade do betão	Inspeção visual	Aspecto homogéneo		A cada entrega	A cada entrega
	Ensaio por comparação de propriedades de amostras individuais colhidas de partes diferentes de uma mesma amassadura	As amostras individuais devem ter as mesmas propriedades	Em caso de dúvida	Em caso de dúvida	Em caso de dúvida
Ensaio de identidade para a resistência à compressão	Ensaio de acordo com o prEN206:1997	Conformidade com a classe de resistência à compressão	Para betão sem Marcação CE ou qualquer outra certificação por entidade independente Em caso de dúvida	Para betão sem Marcação CE ou qualquer outra certificação por entidade independente De acordo com as especificações de projecto Em caso de dúvida	Para betão sem Marcação CE ou qualquer outra certificação por entidade independente De acordo com as especificações de projecto Em caso de dúvida

Quadro 2.33 - Inspeção do betão fresco (cont.) [44]

Assunto	Método	Requisito	Classe de inspeção 1	Classe de inspeção 2	Classe de inspeção 3
Teor de ar	Ensaio no estaleiro de acordo com o prEN 206:1997	Conformidade com a especificação	Aleatória De acordo com as especificações de projecto Em caso de dúvida	Aleatória De acordo com as especificações de projecto Em caso de dúvida	De acordo com as especificações de projecto Em caso de dúvida
Outras características:	De acordo com as normas especificadas ou acordadas	De acordo com as normas especificadas ou acordadas			
Redoseamento	Registo	Dosagem e tipo de agente	A cada entrega	A cada entrega	A cada entrega
Hora de chegada	Registo	De acordo com prEN206:1997 e as especificações de projecto	Quando requerido	Quando requerido	Quando requerido
Hora de colocação	Registo	De acordo com prEN206:1997 e as especificações de projecto	Quando requerido	Quando requerido	Quando requerido
Temperatura	Registo	De acordo com prEN206:1997 e as especificações de projecto	Quando requerido	Quando requerido	Quando requerido

Quadro 2.34 - Inspeção das operações anteriores à betonagem [44]

Item	Classe de inspeção 1	Classe de inspeção 2	Classe de inspeção 3
Planeamento da inspeção		Resultados de betonagens de ensaio se existirem. Acordo acerca de Controlo da Qualidade Plano de inspeção Lista de equipamento	Resultados de betonagens de ensaio se existirem. Acordo acerca de Controlo da Qualidade Plano de inspeção Lista de equipamento Lista de operadores
Inspeção	Inspeção corrente Inspeção em caso de dúvida	Inspeção corrente e aleatória Estabilidade dos cimbres e das cofragens Exame visual de: - esticadores - estanquidade do molde - quantidade de agente descofrante - saturação do molde - junta de construção - sequência de betonagem planeada - acesso - fornecimento planeado - recobrimento Dimensões das medidas	Exame antes de cada betonagem Estabilidade dos cimbres e das cofragens Exame visual de: - esticadores - estanquidade do molde - quantidade de agente descofrante - saturação do molde - junta de construção - sequência de betonagem planeada - acesso - fornecimento planeado - recobrimento Dimensões das medidas

Quadro 2.35 - Inspeção da colocação e da compactação [44]

Item	Classe de inspeção 1	Classe de inspeção 2	Classe de inspeção 3
Planeamento da inspeção		Instruções para os operadores Cadência de colocação Sequência de colocação Espessura da camada	Instruções para os operadores Cadência de colocação Sequência de colocação Espessura da camada Desenho ou diagrama de processo
Inspeção das superfícies moldadas	Inspeção de base	Inspeção de base e aleatória: - condições atmosféricas - cadência de colocação - sequência de colocação - espessura da camada - segregação - consistência - número de vibradores de agulha - diâmetro dos vibradores de agulha - distância de penetração - profundidade de penetração - revibração - vibradores aplicados a cofragens - vibradores de superfície - movimentos do betão - deformação do molde - fixação de peças embebidas	Inspeção da totalidade da betonagem: - condições atmosféricas - cadência de colocação - sequência de colocação - espessura da camada - segregação - consistência - número de vibradores de agulha - diâmetro dos vibradores de agulha - distância de penetração - profundidade de penetração - revibração - vibradores aplicados a cofragens - vibradores de superfície - movimentos do betão - deformação do molde - fixação de peças embebidas

Quadro 2.35 - Inspeção da colocação e da compactação (cont.) [44]

Item	Classe de inspeção 1	Classe de inspeção 2	Classe de inspeção 3
Inspeção das superfícies livres	Inspeção de base	Inspeção de base e aleatória: - leitada superficial - uniformidade da superfície - formação de crosta - momento do fim da compactação - momento do acabamento - protecção da superfície Medição dos desvios da superfície de acordo com as especificações de projecto	Inspeção da totalidade da betonagem: - leitada superficial - uniformidade da superfície - formação de crosta - momento do fim da compactação - momento do acabamento - protecção da superfície Medição dos desvios da superfície de acordo com as especificações de projecto

Quadro 2.36 - Inspeção da protecção e cura [44]

Item	Classe de inspeção 1	Classe de inspeção 2	Classe de inspeção 3
Planeamento da inspeção		<p>Procedimento para a protecção contra a secagem prematura e a congelação</p> <p>Procedimento para o controlo da temperatura</p> <p>Sistema de monitorização da temperatura e registo da maturidade</p>	<p>Procedimento para a protecção contra a secagem prematura e a congelação</p> <p>Procedimento para o controlo da temperatura</p> <p>Sistema de monitorização da temperatura e registo da maturidade</p> <p>Cálculo do desenvolvimento e distribuição da temperatura de acordo com as especificações de projecto</p>
Inspeção	Inspeção de base	<p>Inspeção de base e aleatória:</p> <ul style="list-style-type: none"> - protecção contra a secagem prematura, maturidade - protecção contra a congelação - tempo de descofragem, maturidade - diferenças de temperatura 	<p>Inspeção da totalidade da betonagem:</p> <ul style="list-style-type: none"> - protecção contra a secagem prematura, maturidade - protecção contra a congelação - tempo de descofragem, maturidade - diferenças de temperatura

Quadro 2.37 - Inspeção das operações pós betonagem [44]

Item	Classe de inspeção 1	Classe de inspeção 2	Classe de inspeção 3
Planeamento da inspeção		Instruções para inspeção de acordo com as especificações de projecto	
Inspeção	Verificação geométrica Inspeção de base	Verificação geométrica Resistência e maturidade na idade de descofragem Aspecto da superfície: - buracos - ninhos de brita - perda de leitada - bolhas - fissuras - abertura de fissuras Ligações: - varões de espera - parafusos ou varões roscados - inserções - acessórios Recobrimento: - verificação com medidor de recobrimento se requerido pelas especificações de projecto	

Quadro 2.38 - Inspeção de produtos prefabricados de betão [44]

Item	Propriedade	Método	Frequência	Acção
Produtos	Marcação, quantidade	Inspeção visual	Cada elemento	Assinatura da guia de remessa e registo de imperfeições
Produtos	Imperfeições evidentes	Inspeção visual	Cada elemento	Assinatura da guia de remessa e registo de imperfeições
Produtos	Aspecto das faces das juntas	Inspeção visual	Cada elemento	Assinatura da guia de remessa e registo de imperfeições
Dispositivos de elevação no produto prefabricado	Tipo, integridade e compatibilidade	Inspeção visual	Cada elemento	Assinatura da guia de remessa e registo de imperfeições

Quadro 2.39 - Inspeção de produtos pré-fabricados de betão [44]

Item	Propriedade	Método	Frequência	Acção
Produtos	Tolerâncias geométricas	Métodos de ensaio normalizados	Em caso de dúvida	Registo completo
Produtos	Abertura e extensão de fissuras	Microscópio e fita/régua graduada	Se requerido	Registo completo
Produtos	Formas e dimensões das juntas	Fita/régua graduada	Em caso de dúvida	Registo completo
Dispositivos de elevação no produto prefabricado	Outras características	Métodos de ensaio normalizados	Métodos de ensaio normalizados	Registo completo

Conformidade da Resistência à Compressão do Betão

3. Controlo da Conformidade do Betão

3.1 - Conformidade dos Produtos de Construção

Este capítulo servirá para abordar a conformidade do betão, percebendo como é que se consegue monitorizar quanto à resistência à compressão, fazendo uma aplicação das normas europeias e americanas.

A marcação CE é o passaporte para a livre circulação dos produtos no mercado único europeu, uma vez que é a garantia de que o produto está conforme as disposições das directivas comunitárias aplicáveis. A marcação CE é um requisito legal, decorrente da Directiva 89/106/CEE, que foi transposta para o Direito nacional, tendo começado pelo Decreto-Lei 113/93, de 10 de Abril, sendo alterado pelo Decreto-Lei 4/2007, de 8 de Janeiro. Aplica-se aos materiais de construção, definidos como produtos a serem incorporados ou aplicados, de forma permanente, em empreendimentos de construção, obras. Aqui englobam-se os edifícios e outras obras de construção e de engenharia civil.

Na marcação CE, para identificar se o produto está abrangido pela Directiva Produtos de Construção, consulta-se a lista de normas harmonizadas, publicada no Jornal Oficial da União Europeia (JOUE). O objectivo é assegurar a livre circulação da generalidade dos materiais de construção na União Europeia, mediante a harmonização das legislações nacionais aplicáveis a estes produtos e tendo por base os requisitos essenciais: estabilidade e resistência mecânica, segurança contra incêndios, higiene, saúde e ambiente, protecção contra o ruído, economia, retenção de calor e segurança na utilização.

A aposição da marca CE é da responsabilidade do fabricante, ou dos seus agentes, ou representantes autorizados, estabelecidos no Espaço Económico Europeu. Isto significa que os produtos de construção foram objecto de uma declaração de conformidade CE, emitida pelo fabricante e, quando aplicável, de um Certificado de Conformidade CE, emitido por um Organismo Notificado. A marcação CE pretende garantir as características de desempenho do produto, independentemente destas serem mais ou menos favoráveis. Nos

casos em que quem comercializa os produtos não é quem produz, a marcação CE deve ser obtida junto do produtor. O projectista deve avaliar e decidir se as características declaradas no produto (marcação CE) são suficientes para a respectiva adequabilidade ao fim a que se destina. O projectista ou o dono de obra devem requerer os elementos identificativos e comprovativos da satisfação dos requisitos da marcação CE. Torna-se obrigatório ao fabricante, ou ao seu mandatário estabelecido na União Europeia, na Turquia, ou num Estado subscritor do acordo sobre o Espaço Económico Europeu, apor a marcação CE no próprio produto, através de marcação legível e indelével, ou numa etiqueta colocada no produto, ou na embalagem, ou na documentação comercial que acompanha o produto. A marcação é constituída pelas iniciais CE. A marcação CE deve ser acompanhada do número de identificação do organismo notificado (quando aplicável) e do nome ou marca distintiva do fabricante ou do seu mandatário, bem como do local de produção, dos dois últimos algarismos do ano em que a marcação foi aposta, do número do certificado de Conformidade CE (quando aplicável) e da descrição do produto e utilização prevista.

Quanto à fiscalização, em Portugal compete à ASAE (Autoridade de Segurança Alimentar e Económica) a verificação do seu cumprimento. A DGE (Direcção Geral de Energia), o IPQ (Instituto Português da Qualidade) e o LNEC (Laboratório Nacional de Engenharia Civil) devem acompanhar a aplicação da fiscalização.

3.1.1 - Directivas e Normas Europeias

Para os produtos de construção na União Europeia, destinados a ser utilizados em obras de construção civil, em 21 de Dezembro de 1988, foi criada a Directiva dos Produtos de Construção (DPC), com a intenção de ultrapassar os entraves técnicos à livre circulação, dentro da União Europeia. Esta Directiva visa a aproximação das disposições legislativas, regulamentares e administrativas dos Estados membros, relativamente aos produtos de construção (Directiva 89/106/CEE) e foi transposta para a ordem jurídica portuguesa através de dois diplomas: o Decreto-Lei nº 113/93, de 10 de Abril, e a Portaria nº 566/93, de 2 de Junho, do Ministério da Indústria e Energia. Foram ainda modificados pela Directiva do Conselho 93/68/CEE, de 22 de Julho de 1993, com o objectivo de harmonizar

as disposições relativas à aposição e à utilização da marcação CE, alguns dos artigos da Directiva dos Produtos de Construção, bem como de mais onze Directivas da Nova Abordagem. Esta directiva foi transposta em Portugal pelo Decreto-Lei nº 139/95, de 14 de Junho que, por sua vez, foi posteriormente alterado pelo Decreto-Lei n.º 374/98, de 24 de Novembro. Em Janeiro de 2007, o Decreto-Lei nº 113/93 foi novamente alterado pelo Decreto-Lei nº 4/2007, de 8 de Janeiro, o qual, pelo seu Anexo V, procedeu à republicação do Decreto-Lei nº 113/93, incorporando as diversas alterações, bem como a Portaria nº 566/93.

Segundo o artigo 1.º da Directiva dos Produtos de Construção, como definição de produtos de construção entendem-se todos aqueles que estão destinados a ser permanentemente incorporados numa obra de construção, incluindo as obras de construção civil e de engenharia civil. Para estes produtos serem colocados no mercado, a Directiva dos Produtos de Construção estabelece que devem estar aptos ao uso a que se destinam, devendo, por isso, apresentar características tais que, nas obras onde venham a ser incorporados, satisfaçam algumas exigências essenciais. A resistência mecânica e estabilidade, a segurança em caso de incêndio, a higiene, saúde e protecção do ambiente, a segurança na utilização, a protecção contra o ruído, a economia de energia e isolamento térmico, são características essenciais [53].

Dentro da Directiva dos Produtos de Construção, está previsto ainda um conjunto de instrumentos para a sua implementação, dos quais se destacam as especificações técnicas harmonizadas, Normas Europeias harmonizadas ou Aprovações Técnicas Europeias, os Organismos Notificados e os Organismos de Aprovação, os sistemas de avaliação da conformidade e a marcação CE nos produtos. Existem algumas especificidades que distinguem a Directiva dos Produtos de Construção de outras Directivas da Nova Abordagem. Esta Directiva cobre um universo muito maior e mais complexo de produtos (abrange produtos de construção, desde os materiais básicos a “kits” bastante complexos) e define as exigências essenciais das obras e não dos produtos de construção. Prevê ainda a demonstração da aptidão ao uso dos produtos, por referência a especificações técnicas harmonizadas e estabelece a figura da Aprovação Técnica Europeia (ETA - European

Technical Approval), como uma das especificações técnicas em que se baseia a marcação CE dos produtos da construção. Prevê também a existência de períodos de transição diferenciados para as diversas especificações técnicas. A Directiva dos Produtos de Construção não visa uma completa harmonização das regulamentações nacionais, uma vez que os Estados-membros ficam livres de regulamentar, nos seus territórios, as características técnicas das construções e o seu controlo de execução. Existe ainda a possibilidade dos Estados-membros de, na sua regulamentação, determinarem o nível de protecção, em consonância com as exigências essenciais. Isto, desde que esses níveis não introduzam novos obstáculos ao comércio.

A marcação CE não se aplica apenas a produtos abrangidos pelas Directivas da União Europeia, definindo exigências essenciais a satisfazer pelos produtos, visando essencialmente a segurança, a saúde e a protecção do ambiente, remetendo para especificações técnicas as características e requisitos a assegurar. Trata-se de uma espécie de passaporte para a sua livre circulação no mercado único europeu. Esta revela a evidência dada pelo fabricante de que esses produtos estão conformes com as disposições das directivas comunitárias que lhes são aplicáveis, permitindo-lhes a sua livre circulação na Comunidade Europeia. A marcação CE deve ser colocada de forma visível, facilmente legível e indelével, no próprio produto, num rótulo nele fixado, na respectiva embalagem ou nos documentos comerciais de acompanhamento. É ainda da responsabilidade do fabricante ou dos seus agentes ou representantes autorizados estabelecidos na União Europeia, a aposição da marcação CE e deve ser colocado na sequência da aplicação dos mecanismos descritos na directiva ou directivas aplicáveis, complementados por decisões comunitárias [53].

Desde que não reduzam a visibilidade ou a legibilidade da marcação CE e não induzam em erro quanto ao seu significado e grafismo, podem ser apostas marcas nacionais ou outras em paralelo com ela. Enquanto a marcação CE se destina a permitir a livre circulação dos produtos na União Europeia, as marcas voluntárias têm como principal objectivo a valorização e diferenciação dos produtos no mercado [54].

Uma das mais importantes Directivas da Nova Abordagem é a Directiva Comunitária dos Produtos de Construção (DPC) – Directiva 89/106/CEE, de 21 de Dezembro de 1988, alterada pela Directiva 93/68/CEE, de 22 de Julho de 1993 –, que foi criada com o objectivo de enquadrar o funcionamento do mercado interno europeu nos produtos da construção. Esta Directiva estabelece condições para a sua livre circulação na União Europeia. Trata-se de uma excepção no âmbito das Directivas da Nova Abordagem, no que diz respeito à definição das exigências essenciais. Na Directiva Comunitária dos Produtos de Construção, as exigências não estão definidas para os produtos, mas para as obras onde estes são aplicados. Os Estados-membros deverão presumir aptos ao uso os produtos de construção colocados no mercado com a marcação CE. Assim, quando aplicados nas obras, caso estas sejam convenientemente concebidas e realizadas, esses produtos irão permitir satisfazer as exigências essenciais estabelecidas na Directiva.

Como conceito de uma Norma Europeia harmonizada, temos que se trata de uma Norma Europeia preparada pelo Comité Europeu de Normalização (CEN), sob mandato da Comissão Europeia, com vista ao cumprimento das exigências essenciais de uma Directiva da Nova Abordagem, tal como a Directiva dos Produtos da Construção (DPC). Estas normas são de características de produto, contendo, na maioria dos casos, partes voluntárias ou não-harmonizadas, referentes a características dos produtos não regulamentadas em nenhum Estado-membro. Assim, em todas as normas harmonizadas, elaboradas no âmbito da Directiva dos Produtos de Construção, inclui-se um anexo informativo ZA, cuja primeira parte, designada ZA.1, identifica os requisitos objecto de regulamentação e as cláusulas da norma onde eles são tratados, constituindo a parte harmonizada da norma, a partir da qual a marcação CE é atribuída. As referências das normas vão sendo objecto de publicação no Jornal Oficial da União Europeia (JOUE), em português, inglês e francês. Temos então as normas com referências já publicadas no Jornal Oficial da União Europeia e em que a marcação CE já é possível ou vai sê-lo, a muito curto prazo. Existem ainda as normas já publicadas pelo CEN, Comité Europeu de Normalização, mas cuja referência no Jornal Oficial da União Europeia ainda não teve lugar, não sendo ainda possível a marcação CE dos produtos. Por fim, temos as normas ainda em fase de elaboração (prEN).

Para cada uma das normas do primeiro grupo referido anteriormente, a informação é apresentada no Quadro 3.1, a seguir apresentado como exemplo. Em ‘XXXXX’ regista-se, no caso de não existir ainda a correspondente NP EN, o título da norma publicada na versão portuguesa do Jornal Oficial da União Europeia, com ligeiras alterações, quando tal for julgado conveniente. O ‘Dipc’ e ‘Dtpc’ são datas definidas no Jornal Oficial da União Europeia para início e termo do período de coexistência. A partir da ‘Dipc’, data de início do período de coexistência, o produto já pode ser objecto de marcação CE, mas podem ainda circular produtos sem aquela marcação. A partir da ‘Dtpc’, data de termo do período de coexistência, só podem circular no Espaço Económico Europeu os produtos com marcação CE. Temos ainda as listas das Comissões Técnicas do CEN, Comité Europeu de Normalização, encarregues de preparar as Normas Europeias e as Comissões Técnicas Portuguesas de Normalização, que acompanham a elaboração daquelas EN, Normas Europeias e que são responsáveis pela elaboração das versões portuguesas das normas (NP EN). As Normas Europeias (EN) e as Normas Portuguesas (NP EN) podem ser consultadas ou adquiridas no Instituto Português da Qualidade (IPQ) [53].

Quadro 3.1 - Informação relativa às normas

NORMA EUROPEIA	EN 197-4:2004
TÍTULO	Cement - Part 1: Composition, specifications and conformity criteria for low early strength blast furnace cements
	XXXXX
	Dipc: 2005-02-01 Dtpc: 2006-02-01
Avaliação da conformidade	Sistema 1+
NORMA PORTUGUESA	NP EN 197-4:2006
	Cimento. Parte 4: Composição, especificações e critérios de conformidade para cimentos de alto-forno de baixas resistências iniciais

3.1.2 - Aprovação Técnica Europeia (ETA)

A Aprovação Técnica Europeia (ETA – *European Technical Approval*) é uma apreciação técnica favorável da aptidão ao uso de um produto, estabelecida com base nas exigências essenciais das obras de construção onde esse produto seja aplicado. Pode ser concedida uma Aprovação Técnica Europeia a um produto de construção, desde que não exista Norma Europeia harmonizada aplicável a esse produto e a Comissão Europeia não tenha emitido nenhum mandato para a sua elaboração, ou, se o produto se desvia significativamente das Normas Europeias harmonizadas.

Assim, as Aprovações Técnicas Europeias aplicam-se, fundamentalmente, a produtos com carácter inovador, incluindo aqueles que são colocados em obra, sob a forma de um “kit”, para os quais será necessário estabelecer as respectivas regras de montagem. A Aprovação Técnica Europeia inspira-se na experiência acumulada pelos institutos que têm vindo a exercer funções homologadoras, de âmbito nacional, relativamente a produtos inovadores da construção. Em Portugal, esta actividade traduz-se na emissão de Documentos de Homologação do Laboratório Nacional de Engenharia Civil (LNEC).

Ao contrário das Normas Europeias harmonizadas, que traduzem o estado do conhecimento e reflectem a situação do mercado em maior escala, as Aprovações Técnicas Europeias têm vocação para apoiar a inovação tecnológica e responder a solicitações específicas do mercado. No seu conjunto, cobrem, por outro lado, predominantemente produtos complexos e sistemas (ou “kits”), enquanto o conjunto das normas harmonizadas cobre prioritariamente materiais de construção de uso corrente, sendo especificações técnicas de âmbito geral, aplicáveis a todos os produtos a que respeitam, independentemente do respectivo fabricante. A Aprovação Técnica Europeia é uma especificação técnica de carácter individual, relativa a um ou mais produtos específicos do mesmo tipo, produzidos por um determinado fabricante, que associa duas funções: a definição do produto e das suas características (função inerente a uma especificação técnica harmonizada) e uma apreciação favorável da sua aptidão ao uso [53].

Os Estados-membros agrupam-se na Organização Europeia de Aprovação Técnica (EOTA – *European Organization of Technical Approvals*), criada em 1990. As Aprovações Técnicas Europeias são concedidas por organismos designados, para o efeito, pelos respectivos Estados-membros, em cumprimento da Directiva dos Produtos de Construção. No sítio da EOTA podem ser consultadas as entidades que dela fazem parte. Portugal encontra-se representado na EOTA, pelo Laboratório Nacional de Engenharia Civil (LNEC). As Aprovações Técnicas Europeias podem ser concedidas com base em Guias de Aprovação Técnica Europeia (ETAG – *Guidelines for European Technical Approvals*), ou com base em Procedimentos Comuns de Avaliação (CUAP – *Common Understanding of Assessment Procedure*), elaborados no seio da EOTA. Do documento Regras Processuais Comuns, constam as disposições a observar nos processos, que foram estabelecidas na Decisão 94/23/CEE, para solicitar, preparar e conceder Aprovações Técnicas Europeias. No sítio da EOTA encontram-se registadas as Aprovações Técnicas Europeias (ETA) válidas. Uma vez emitida, a Aprovação Técnica Europeia é válida, em todos os países do Espaço Económico Europeu, por um período de cinco anos, renovável. Obtida a concessão de uma Aprovação Técnica Europeia, o produto em causa está em condições de obter a marcação CE, possibilitando-se assim a sua circulação no Espaço Económico Europeu.

Aplicam-se então, conforme o tipo de produto em causa, os sistemas de avaliação da conformidade 1+, 1, 2+, 2, 3 e 4. Em Guias de Aprovação Técnica Europeia (ETAG), podem ser consultados os Guias publicados, as datas de entrada em vigor da marcação CE e os sistemas de avaliação da conformidade aplicáveis. De forma a evitar as duplicações desnecessárias de ensaios e correspondentes encargos, ao invés do que sucede quando a marcação CE é obtida com base numa Norma Europeia harmonizada, no caso da aposição da marcação CE ser feita com base numa Aprovação Técnica Europeia, os ensaios de tipo iniciais integrados nos procedimentos de avaliação da conformidade desses produtos podem ser dispensados, já que o conjunto de ensaios a que são submetidos no decurso do respectivo processo de aprovação é, em regra, mais extenso do que o dos ensaios de tipo iniciais e inclui todos estes [54].

3.1.3 - Avaliação da Conformidade

A Directiva dos Produtos da Construção (DPC) define um conjunto de métodos de avaliação da conformidade, utilizado na avaliação da conformidade dos produtos da construção com as especificações técnicas necessárias para a marcação CE (Normas Europeias harmonizadas e Aprovações Técnicas Europeias). Devidamente escolhidos e combinados entre si, originam seis sistemas de avaliação da conformidade distintos: 1+, 1, 2+, 2, 3 e 4, caracterizados no Quadro 3.2. Analisando este quadro, constata-se que, com excepção do sistema 4, onde a responsabilidade das tarefas a efectuar incumbe exclusivamente ao fabricante, intervêm Organismos de certificação, Organismos de inspecção ou Laboratórios de ensaio.

Em todos os sistemas de avaliação da conformidade, é comum a existência de um controlo interno da produção, de carácter permanente, da responsabilidade do fabricante. Todos os sistemas integram também ensaios de tipo iniciais, a cargo do fabricante ou de um Organismo Notificado, consoante os sistemas. Em todos os sistemas, os procedimentos incluem uma declaração de conformidade emitida pelo fabricante, a qual tem por base um certificado de conformidade do produto, emitido por um organismo notificado em dois dos sistemas (sistemas 1+ e 1) e um certificado de conformidade do controlo interno da produção emitido também por um organismo notificado em outros dois sistemas (sistemas 2+ e 2) [54].

A Comissão Europeia decide, para cada família de produtos, o sistema de avaliação da conformidade, ponderando vários factores ligados à relevância desses produtos para a satisfação das exigências essenciais das obras, à sua natureza, à variabilidade das suas características e à sua susceptibilidade, em relação a defeitos de fabrico. Tem ainda presente que, entre várias opções que se colocam, a escolha deverá recair sobre o sistema menos oneroso. Depois de os respectivos projectos terem sido submetidos à audição do Comité Permanente da Construção, cujo parecer é, nestes casos, vinculativo, as decisões em causa são publicadas no Jornal Oficial da União Europeia (JOUE).

Quadro 3.2 - Sistemas de Avaliação da Conformidade para a Marcação CE

Sistema	Tarefas do Fabricante	Tarefas do Organismo Notificado	Base para a Marcação CE
1+	- Controlo interno da produção - Ensaio de amostras segundo programa prescrito	Certificação do produto com base em: - Ensaio de tipo iniciais - Inspeção inicial do controlo interno da produção - Acompanhamento permanente do controlo interno da produção - Ensaio aleatório de amostras	Declaração de conformidade pelo fabricante com base num certificado de conformidade do produto
1	- Controlo interno da produção - Ensaio de amostras segundo programa prescrito	Certificação do produto com base em: - Ensaio de tipo iniciais - Inspeção inicial do controlo interno da produção - Acompanhamento permanente do controlo interno da produção	
2+	- Ensaio de tipo iniciais - Controlo interno da produção - (Ensaio de amostras segundo programa prescrito)	- Certificação do controlo interno da produção com base numa inspeção inicial e no acompanhamento permanente desse controlo	Declaração de conformidade pelo fabricante com base num certificado de conformidade do controlo interno da produção
2	- Ensaio de tipo iniciais - Controlo interno da produção - (Ensaio de amostras segundo programa prescrito)	- Certificação do controlo interno da produção com base numa inspeção inicial	
3	- Controlo interno da produção	- Ensaio de tipo iniciais	Declaração de conformidade pelo fabricante
4	- Ensaio de tipo iniciais - Controlo interno da produção		

O fabricante deve realizar, em todos os sistemas de avaliação da conformidade, um controlo interno da produção. No Decreto-Lei nº 113/93, republicado pelo Anexo V do Decreto-Lei nº 4/2007, de 8 de Janeiro, tal controlo permanente deve ter em conta que,

todos os elementos, requisitos e disposições adoptados pelo fabricante serão sistematicamente documentados sob a forma de normas e procedimentos escritos. A documentação do sistema de controlo da produção deve assegurar uma compreensão comum das garantias de qualidade e permitir verificar a obtenção das características exigidas do produto e a funcionalidade efectiva do sistema de controlo da produção.

No Anexo ZA das Normas Europeias harmonizadas ou no Capítulo 8 dos ETAG, estão referidas sucintamente as tarefas a desempenhar pelo fabricante. No caso dos sistemas 1+, 1, 2+ e 2, em que é necessária a intervenção de um organismo notificado para avaliar esse controlo, tem vindo a ser preparado, pelo Grupo Europeu dos Organismos Notificados, um conjunto de documentos orientadores sobre esta matéria.

Os materiais constituintes do betão têm que obedecer ao seguinte sistema de avaliação da conformidade para a marcação CE:

- para o cimento e adições, o sistema exigido é o 1+;
- para os agregados e adjuvantes, o sistema exigido é o 2+.

3.2 - Controlo da Conformidade do Betão em Portugal

A Norma NP EN 206-1 [1] só pode ser utilizada em associação com as normas de produto (Figura 3.1), ou com as especificações equivalentes, relativas aos materiais constituintes (cimento, agregados, adições, adjuvantes e água de amassadura) e com os métodos de ensaio do betão correspondentes.

A preparação da Norma NP EN 206-1 [1] deu lugar à revisão de alguns pontos da Norma NP ENV 206 [2]. Temos que a nova norma proporcionou uma extensão do sistema de classificação do betão, principalmente no que respeita às condições ambientais. Houve também uma revisão dos requisitos para a durabilidade, e uma extensão das classes de resistência.

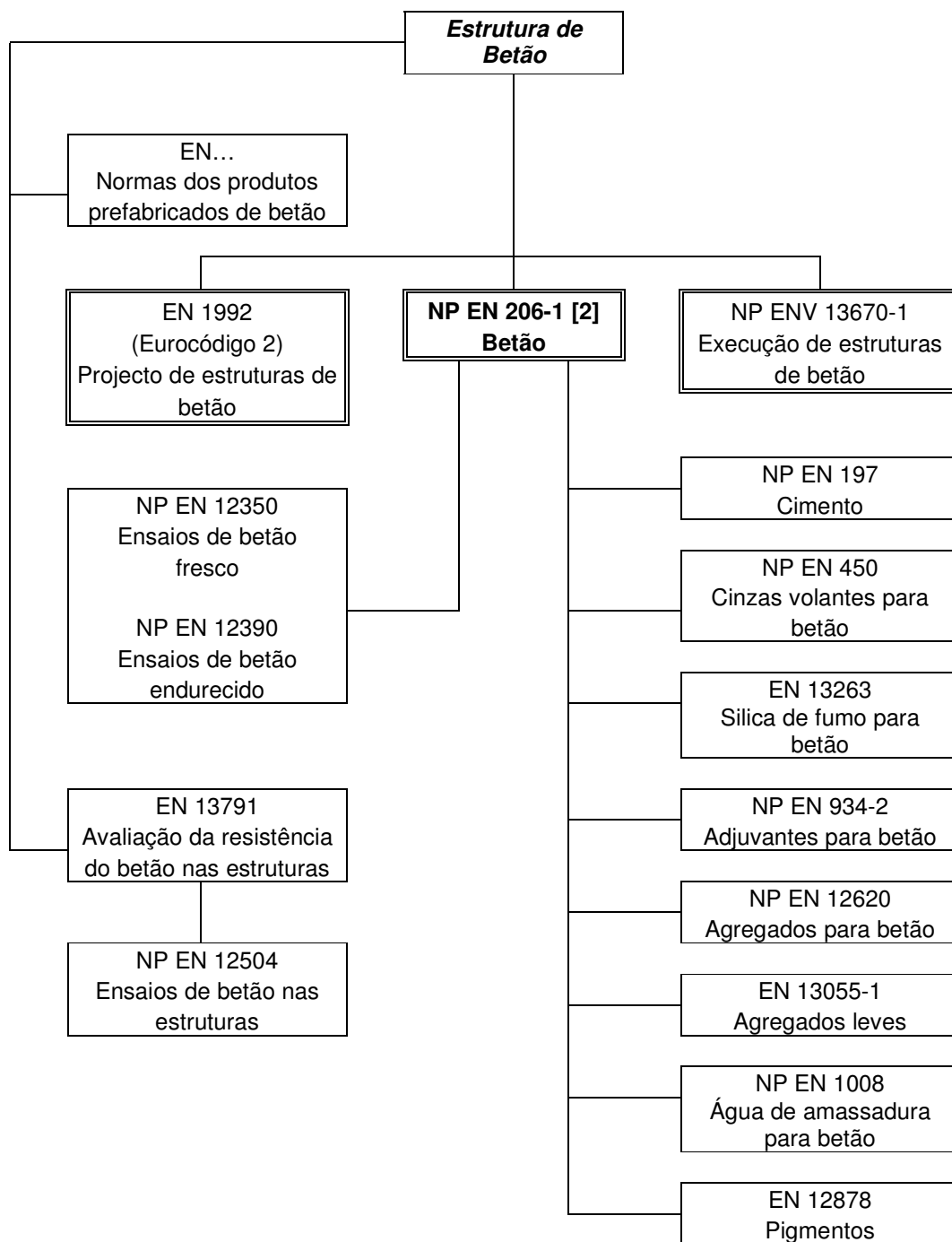


Figura 3.1 - Organograma com normas relativas a estruturas de betão [1]

Foi revista a contribuição das adições na determinação da razão água/cimento e da dosagem de cimento. Nesta nova Norma, existe uma identificação da partilha das responsabilidades

técnicas entre o especificador, o produtor e o utilizador. Foi reconsiderada a exactidão dos instrumentos de pesagem e dos requisitos de cura, bem como as disposições relativas ao controlo da conformidade, aos critérios da conformidade e aos ensaios de identidade.

Com a extensão do sistema de classificação do betão, no que respeita às condições ambientais e aos requisitos de durabilidade, estas acções são organizadas em classes de exposição, podendo o betão encontrar-se sujeito a mais que uma acção, o que implica que as condições ambientais podem ser expressas como uma combinação de classes. As classes passam a ser definidas pelo risco de corrosão ou ataque, correspondendo-lhes os respectivos valores limites para o ataque químico proveniente de solos naturais e de águas neles contidos.

Para além da extensão das classes de resistência do betão, conforme se pode constatar no Quadro 2.16, procedeu-se também à classificação das classes de resistência para o betão leve (Quadro 3.3).

Existe na norma NP EN 206-1 [1] identificação da partilha das responsabilidades técnicas entre o especificador, o produtor e o utilizador. Assim, o utilizador deve acordar com o produtor a data, a hora e a cadência da entrega. Quando apropriado, deve informar o produtor acerca de transporte especial no local, métodos especiais de colocação e limitações dos veículos de entrega, por exemplo, tipo (equipamento agitador/não agitador), tamanho, altura ou peso bruto. Nesta nova norma, além das informações previstas na NP ENV 206 [2] do produtor do betão para com o utilizador, este deve ainda informar do desenvolvimento da resistência e das origens dos materiais constituintes. Para determinar a duração da cura, pode ser dada a informação sobre o desenvolvimento da resistência do betão por uma curva de desenvolvimento da resistência a 20°C entre os 2 e os 28 dias, ou por intermédio de uma estimativa da razão de resistências $f_{cm,2}/f_{cm,28}$. Se essa estimativa der uma razão superior ou igual a 0,5, diz-se que o desenvolvimento da resistência é rápido. Se a razão for maior ou igual a 0,3 e menor que 0,5, diz-se que é um desenvolvimento médio. Para um valor inferior a 0,3 e maior ou igual a 0,15, o desenvolvimento é lento. Este será muito lento quando a razão é inferior a 0,15.

Quadro 3.3 - Classes de resistência à compressão para betão leve

Classe de resistência à compressão	Resistência característica mínima em cilindros $f_{ck,cyl}$ (N/mm ²)	Resistência característica mínima em cubos $f_{ck,cyl}$ (N/mm ²)
LC8/9	8	9
LC12/13	12	13
LC16/18	16	18
LC20/22	20	22
LC25/28	25	28
LC30/33	30	33
LC35/38	35	38
LC40/44	40	44
LC45/50	45	50
LC50/55	50	55
LC55/60	55	60
LC60/66	60	66
LC70/77	70	77
LC80/88	80	88
a) Podem ser usados outros valores, desde que a relação entre estes e a resistência dos cilindros de referência estabelecida com suficiente exactidão e esteja documentada		

O utilizador deve ainda ser informado pelo produtor em relação aos riscos de saúde que podem ocorrer durante o manuseamento do betão fresco, de acordo com as disposições válidas no local de utilização do referido betão. A guia de remessa do betão pronto, além dos pontos referidos na norma NP ENV 206 [2], deve referir a declaração de conformidade com referência às especificações e à NP EN 206-1 [1], hora de chegada do betão ao local da construção, hora do início da descarga e hora do fim da descarga. A guia de remessa deve ainda, adicionalmente, fornecer pormenores sobre a classe de teor de cloretos, limites da composição do betão, máxima dimensão do agregado mais grosso e, para os betões leves ou pesados, classe de massa volúmica ou massa volúmica pretendida. Para um betão de composição prescrita, importa fornecer informação sobre a máxima dimensão do agregado mais grosso.

O produtor é responsável pela avaliação da conformidade do betão. Assim, este deve executar ensaios iniciais, quando requeridos e o controlo da produção, incluindo o controlo da conformidade. Dependendo do nível dos requisitos de desempenho para o betão, da sua utilização pretendida, do tipo de produção e da margem de segurança da composição do betão, resulta a recomendação para inspeccionar o controlo da sua produção e certificar a sua conformidade, por organismos de inspecção e de certificação reconhecidos. Os requisitos e as disposições para a avaliação da conformidade são dados nas especificações técnicas relevantes, normas de produto e aprovações técnicas, para produtos prefabricados de betão. O controlo da produção deve ser avaliado e fiscalizado por um organismo de inspecção reconhecido e depois certificado por um organismo de certificação reconhecido, quando for requerido por contrato ou disposições válidas no local de utilização do betão.

No que diz respeito à exactidão do equipamento de pesagem, esta deve ser no mínimo a seguinte: quando a posição no campo de medida da escala ou do indicador digital for de 0 a $\frac{1}{4}$ do valor máximo da escala ou do indicador digital, a exactidão mínima na instalação terá que ser de 0,5 % desse valor e a exactidão mínima em operação terá que ser de 1,0 % desse valor; quando a posição no campo de medida da escala ou do indicador digital for de $\frac{1}{4}$ ao valor máximo da escala ou do indicador digital, a exactidão mínima na instalação terá que ser de 0,5 % da leitura feita e a exactidão mínima em operação terá que ser de 1,0 % da leitura feita.

3.2.1 - Resistência à compressão segundo a NP ENV 206 [2]

3.2.1.1 - Controlo da conformidade

O controlo da conformidade compreende a combinação de acções e decisões, tomadas de acordo com as regras de conformidade previamente adoptadas, necessárias para verificar a conformidade de um lote, previamente definido, com as especificações.

3.2.1.2 - Sistema de verificação

O controlo da conformidade deve ser verificado por um dos sistemas a seguir indicados:

- *verificação por um organismo de certificação*

Aqui, tal como é de esperar, a verificação da conformidade é realizada por um organismo de certificação, o qual está encarregue de verificar que a produção está submetida a um controlo da produção e que os resultados deste controlo satisfazem as propriedades exigidas ao betão. Como parte desta verificação, o organismo de certificação pode ensaiar amostras do fabrico corrente por ele colhidas, para verificação dos resultados do controlo de fabrico.

- *verificação pelo dono da obra*

Nos casos em que não existe um sistema de certificação aprovado, as verificações devem ser efectuadas pelo dono de obra ou pelo seu representante, com pessoal devidamente qualificado. Importa verificar se os ensaios de controlo são adequados às propriedades exigidas ao betão. Como parte desta verificação, podem ensaiar-se amostras colhidas, de modo a confirmar os resultados de controlo de fabrico.

3.2.1.3 - Plano de amostragem

Para julgar a conformidade, por exemplo, da resistência à compressão do betão utilizado numa estrutura, há que dividi-lo em lotes para os quais é verificada a conformidade. O volume total de betão de um lote deve ser fabricado em condições consideradas uniformes (mesma família). Por sua vez, a dimensão dum lote, deve ter em conta o betão fornecido para cada andar de um edifício ou grupo de vigas/lajes ou colunas/paredes de um andar de um edifício, ou partes comparáveis de outras estruturas; ser sempre inferior a 450 m³, ou à produção de uma semana de betonagem.

Por cada lote, devem tomar-se, pelo menos, seis amostras colhidas separadamente. Se se pretender colher mais do que seis amostras por lote, tal deve ser acordado antes de começar o fabrico do betão. No entanto, quando se pretender julgar betões de classes de resistência não superior a C20/25 e de pequenos lotes até 150 m³ podem tomar-se, como mínimo, três amostras colhidas separadamente.

3.2.1.4 - Critérios de conformidade da resistência à compressão

Os critérios de conformidade a obedecer em obra dependem, acima de tudo, do tipo de betão adoptado. Partindo deste princípio, pode-se, de uma forma simplista, apontar duas atitudes diferentes: uma para o caso de se utilizar betão fabricado no local e outra para o caso de se utilizar betão pronto. No primeiro caso, admite-se a conformidade se os resultados dos ensaios satisfizerem os seguintes critérios, em função do número de amostras consideradas em cada lote:

Critério 1:

Este critério aplica-se quando a conformidade é verificada através da consideração de seis ou mais amostras consecutivas, cujas resistências são $f_{c1}, f_{c2} \dots f_{cn}$.

A resistência de uma amostra deve ser o resultado do ensaio de um provete ou a média dos resultados, quando se moldam dois ou mais provetes de uma amostra.

A resistência, em MPa, deve satisfazer as seguintes condições:

$$f_{cm} \geq f_{ck} + \lambda s_n \quad (3.1)$$

$$f_{cmin} \geq f_{ck} - K \quad (3.2)$$

Onde:

f_{cmin} é o menor valor da resistência individual do conjunto de amostras;

f_{cm} é a resistência média do conjunto de amostras;

s_n é o desvio padrão de um subconjunto de amostras;

f_{ck} é a resistência característica especificada para o betão;

λ e K são valores retirados do Quadro 3.4 em função do número n de amostras do conjunto;

Quadro 3.4 - valores de λ e K

n	λ	K
6	1,87	3
7	1,77	
8	1,72	
9	1,67	
10	1,62	4
11	1,58	
12	1,55	
13	1,52	
14	1,50	
15	1,48	

Critério 2:

Este critério aplica-se quando a conformidade é verificada através da consideração de três amostras, cujas resistências são f_{c1} , f_{c2} e f_{c3} .

A resistência de uma amostra deve ser o resultado do ensaio de um provete ou a média dos resultados quando se moldam dois ou mais provetes de uma amostra.

A resistência, em MPa, deve satisfazer as seguintes condições:

$$f_{cm3} \geq f_{ck} + 5 \quad (3.3)$$

$$f_{cmin} \geq f_{ck} - 1 \quad (3.4)$$

Onde:

f_{cm3} é a resistência média das amostras;

Para além destes dois critérios, sempre que as normas nacionais, ou as regulamentações em vigor no local de aplicação do betão o permitem, pode ser suficiente uma declaração de conformidade pelo fabricante desde que:

- exista controlo de fabrico satisfazendo as exigências;
- os ensaios prévios tenham dado resultados satisfatórios;
- a classe de resistência especificada para o betão não seja superior a C20/25;
- os lotes sejam inferiores a 150 m³, ou os elementos de betão sejam de menor importância para a segurança da estrutura.

Para definir os critérios de conformidade a adoptar na obra no caso em que se usa o betão pronto, são possíveis duas opções, dependendo, cada uma delas das normas nacionais ou regulamentares em vigor no local de aplicação do betão.

Opção 1- Conformidade baseada na amostragem por lotes:

Sempre que a conformidade tiver como base a amostragem por lotes, as condições e os critérios a verificar são iguais aos apresentados anteriormente, no caso de se utilizar em obra betão fabricado no local. A amostragem deve fazer-se sempre no local. Quando a conformidade do betão pronto fornecido já tiver sido verificada por um organismo de certificação e se a verificação da conformidade se baseou em pelo menos quinze resultados de ensaios, então, para a verificação da conformidade no local:

- Para um número de amostras igual ou superior a seis, utilizando o critério 1, a resistência deve satisfazer as seguintes condições:

$$f_{cm} \geq f_{ck} + 1,48 s_n \quad (3.5)$$

$$f_{cmin} \geq f_{ck} - K \quad (3.2)$$

- Para um número de amostras igual a três, utilizando o critério 2, a resistência deve satisfazer as seguintes condições:

$$f_{cm3} \geq f_{ck} + 3 \quad (3.6)$$

$$f_{cmin} \geq f_{ck} - 1 \quad (3.4)$$

Opção 2- Conformidade baseada numa certificação do betão:

Para um determinado local, não é necessário amostragem nem ensaios de conformidade desde que:

- A conformidade do betão pronto fornecido seja verificada e confirmada por um organismo de certificação;
- Haja resultados satisfatórios de ensaios de amostras colhidas no decurso do fabrico e existam disponíveis, no local, amostras de betão retiradas da mesma família de betão, durante os últimos sete dias de fabrico.

3.2.2 - Resistência à compressão segundo a NP EN 206-1 [1]

3.2.2.1 - Frequência mínima de amostragem para avaliação da conformidade

Quando a produção é inicial, até se obterem pelo menos 35 resultados, a frequência mínima de amostragem nos primeiros 50 m³ de produção, é de 3 amostras. A produção subsequente a esta medida, para o betão com controlo da produção certificado é de 1/200 m³ ou 2/semana de produção. Quando a produção é contínua e estejam disponíveis pelo menos 35 resultados, para o betão com controlo da produção certificado, a frequência mínima de amostragem é de 1/400 m³ ou 1/semana de produção. Para o betão sem controlo certificado da produção, a frequência mínima de amostragem é de 1/150 m³ ou 1/dia de produção.

Assim, segundo a Norma NP EN 206-1 [1], para avaliar a qualidade de membro da família e para controlar a conformidade de uma família de betões, deve-se, aos 28 dias, verificar se cada resultado cumpre o critério 2 de conformidade da resistência à compressão. Em seguida, para cada elemento ensaiado, verificar-se-á, em cada período de análise, se o betão em causa pertence à família, usando o critério 3, de confirmação. Só faz sentido aplicar este critério em produções contínuas e, conseqüentemente, em betões com certificado do controlo de produção. Por fim, para poder classificar a família como conforme no período de verificação em causa, para cada período de estudo, deve verificar-se se a resistência média de todos os resultados transpostos cumpre o critério 1 de conformidade da resistência à compressão. Como família de betões entende-se um grupo de composições de betão, para as quais se encontra estabelecida e documentada uma correlação fiável entre as propriedades relevantes. Uma das notas apresentadas na NP EN 206-1 [1] diz ainda que os critérios de conformidade foram desenvolvidos com base em resultados sem sobreposição. A aplicação dos critérios aos resultados dos ensaios com sobreposição aumenta o risco de rejeição.

3.2.2.2 - Critérios de conformidade da resistência à compressão

A avaliação da conformidade deve basear-se nos resultados dos ensaios obtidos durante um período de avaliação que não pode exceder os últimos doze meses. A conformidade é confirmada se forem satisfeitos ambos os critérios, tanto para a produção inicial, como para a produção contínua. Quando a conformidade for avaliada tendo como base uma família de betões, aplicam-se os critérios a seguir descritos:

Produção Inicial

Neste caso o número de resultados de ensaios da resistência à compressão no grupo é de 3.

- Critério 1

$$f_{cm} \geq f_{ck} + 4 \quad (3.7)$$

Onde:

f_{cm} é a média dos resultados (N/mm^2);

f_{ck} é a resistência característica especificada para o betão;

- Critério 2

$$f_{ci} \geq f_{ck} - 4 \quad (3.8)$$

Onde:

f_{ci} é qualquer resultado individual de ensaio (N/mm^2);

Produção Contínua

Neste caso, o número de resultados de ensaios da resistência à compressão no grupo é maior ou igual a 15.

- Critério 1

$$f_{cm} \geq f_{ck} + 1,48 \sigma \quad (3.9)$$

Onde:

σ é o desvio padrão das resistências do conjunto de amostras;

- Critério 2

$$f_{ci} \geq f_{ck} - 4 \quad (3.8)$$

3.2.2.3 - Critério de confirmação para os membros da família

Qualquer betão que falhe o critério 3 (Quadro 3.5) deve ser retirado da família e a sua conformidade avaliada individualmente.

Quadro 3.5 - Critério de confirmação para os membros da família

Numero "n" de resultados de ensaio da resistência à compressão de um dado betão da família	Critério 3
	Média "n" resultados (f_{cm}) de um dado betão da família (N/mm ²)
2	$\geq f_{ck} - 1,0$
3	$\geq f_{ck} + 1,0$
4	$\geq f_{ck} + 2,0$
5	$\geq f_{ck} + 2,5$
6	$\geq f_{ck} + 3,0$

3.2.2.4 - Ensaio de identidade para a resistência à compressão

Segundo o Decreto-Lei n.º 301/2007 é necessário, aquando da fase de projecto, especificar a classe de inspecção a aplicar na execução da estrutura. Em obras com uma vida útil de 100 anos, aplica-se a classe de inspecção 3. Nas estruturas com classes de inspecção 2 e 3, o planeamento e execução dos ensaios é efectuado pelo utilizador, sendo legalmente obrigatórias. Na classe de inspecção 1, caso no projecto não seja indicada a obrigatoriedade da realização de ensaios de identidade, embora o utilizador possa optar pela realização dos mesmos, estes não são necessários.

O betão é para ser analisado por lotes, sendo o lote escolhido por forma a minimizar o volume. Por um lado temos que o volume de betão será aquele que é fornecido com a mesma composição para cada piso dum edifício ou grupo de vigas / lajes ou pilares / paredes de um piso ou de um edifício ou partes semelhantes de outras estruturas. Por outro

lado, temos que o volume de betão com a mesma composição entregue no local da obra durante 3 dias de betonagem consecutivos, mas não mais de 300 m³. No caso do volume de betão ser uma amassadura ou carga, colhe-se apenas 1 amostra. Cada amostra deve ser constituída por um mínimo de 2 provetes.

O técnico deverá começar por dividir a estrutura por lotes e indicar o número de amostras a executar por cada lote. Esse número de amostras deverá satisfazer não só a frequência mínima de amostragem, mas também a requerida nas especificações de projecto. Concluir-se-á sobre a adequação do betão aplicado em cada lote de betão.

A frequência mínima de amostragem para betão com certificação do controlo da produção, nas classes de inspecção 1 e 2 é de 1 amostra por cada 100 m³, com um mínimo de 1 amostra por dia de betonagem. Na classe de inspecção 3, a frequência mínima é de 1 amostra por cada 50 m³, com um mínimo de 1 amostra por dia de betonagem.

Para o betão sem certificação de controlo de produção, nas classes de inspecção 1 e 2, a frequência mínima de amostragem é de 1 amostra por cada 50 m³, com um mínimo de 1 amostra por dia de betonagem. Neste tipo de betão, não se aplica a classe de inspecção 3.

Na verificação dos critérios de conformidade para a resistência à compressão começa-se por validar os resultados de cada amostra. Assim, o intervalo de variação dos resultados dos provetes da mesma amostra terá que ser inferior ou igual a 15% da respectiva média. Estes resultados não devem ser considerados, a não ser que seja possível identificar uma razão aceitável para eliminar um dos extremos. Nos critérios de identidade, caso o número de amostras do lote seja maior que 6, faz-se uma sobreposição de resultados, de 6 a 6.

- Para 1 resultado de ensaio da resistência à compressão do volume de betão em causa:

Critério 1

$$f_{cm} \geq \dots \Rightarrow \text{Não aplicável}$$

Onde:

$$f_{cm} \text{ é a média dos resultados (N/mm}^2\text{);}$$

Critério 2

$$f_{ci} \geq f_{ck} - 4 \quad (3.8)$$

Onde:

f_{ci} é qualquer resultado individual de ensaio (N/mm^2);

f_{ck} é a resistência característica especificada para o betão;

- Para 2 a 4 resultados de ensaio da resistência à compressão do volume de betão em causa:

Critério 1

$$f_{cm} \geq f_{ck} + 1 \quad (3.10)$$

Critério 2

$$f_{ci} \geq f_{ck} - 4 \quad (3.8)$$

- Para 5 a 6 resultados de ensaio da resistência à compressão do volume de betão em causa:

Critério 1

$$f_{cm} \geq f_{ck} + 2 \quad (3.11)$$

Critério 2

$$f_{ci} \geq f_{ck} - 4 \quad (3.8)$$

3.2.3 - Resistência à tracção

3.2.3.1 - Critérios de conformidade da resistência à tracção

Tal como na resistência à compressão, a avaliação da conformidade deve fundamentar-se nos resultados dos ensaios obtidos durante um período de avaliação, que não deve exceder os últimos doze meses. A conformidade será confirmada se forem satisfeitos ambos os critérios, tanto para a produção inicial, como para a produção contínua.

Produção Inicial

Neste caso o número de resultados de ensaios da resistência à tracção no grupo é de 3.

- Critério 1

$$f_{tm} \geq f_{tk} + 0,5 \quad (3.12)$$

Onde:

f_{tm} é a média dos resultados (N/mm^2);

f_{tk} é a resistência característica especificada para o betão;

- Critério 2

$$f_{ti} \geq f_{tk} - 0,5 \quad (3.13)$$

Onde:

f_{ti} é qualquer resultado individual de ensaio (N/mm^2);

Produção Contínua

Neste caso, o número de resultados de ensaios da resistência à tracção no grupo é maior ou igual a 15.

- Critério 1

$$f_{tm} \geq f_{tk} + 1,48 \sigma \quad (3.9)$$

Onde:

σ é o desvio padrão das resistências do conjunto de amostras;

- Critério 2

$$f_{ti} \geq f_{tk} - 0,5 \quad (3.13)$$

3.2.4 - Critérios de conformidade para outras propriedades que não a resistência

Tal como nas resistências à compressão e à tracção, a avaliação da conformidade deve basear-se nos resultados dos ensaios obtidos durante um período de avaliação, que não deve

exceder os últimos doze meses, estando também previsto um número aceitável de não-conformidades para os critérios de conformidade aplicáveis a outras propriedades, além da resistência.

A conformidade deve ser avaliada por comparação entre o registo de produção e os documentos de entrega dos constituintes, com os requisitos especificados para o tipo e a classe de resistência do cimento, os tipos de agregados, o tipo de adjuvante ou de adição (se for o caso), as origens dos constituintes do betão, se especificadas. Em caso de não conformidade, exige-se que o produtor confira os resultados dos ensaios e aja de forma a eliminar os erros, implementando acções correctivas, incluindo uma revisão, pela direcção, dos procedimentos de controlo de produção relevantes. Além disso, deve notificar o especificador e o utilizador para evitar quaisquer danos consequentes e registar as acções acima descritas [42].

3.3 - Controlo da Conformidade do Betão nos EUA

3.3.1 - A norma ACI 318-02 [3]

Os requisitos para as misturas de betão são baseados na premissa de que o betão tenha uma durabilidade e resistência mecânica adequadas. Os critérios para a aceitação do betão assentam no princípio de que as normas são destinadas, principalmente, a proteger a segurança do público/utilizadores.

Esta norma descreve procedimentos para que possam ser obtidos betões de resistência adequada e prevê procedimentos para o controlo da qualidade do betão, durante e após a sua colocação em obra. Prevê igualmente, critérios mínimos de mistura e colocação de betão. As disposições a seguir enunciadas estabelecem as proporções dos constituintes do betão pretendido.

O betão será doseado, para atingir uma resistência à compressão média, conforme prescrito, satisfazendo os critérios de durabilidade. Ao mesmo tempo, deve ser produzido para minimizar a frequência de valores abaixo do exigido.

De acordo com as premissas básicas que regem a designação e avaliação da resistência do betão, realça-se que a média da resistência do betão produzido deverá sempre exceder o valor da resistência especificada, utilizado nos cálculos de concepção estrutural. Esta é baseada em conceitos probabilísticos e destina-se a assegurar a resistência do betão que será desenvolvida na estrutura. Os requisitos da durabilidade prescritos são para ser cumpridos, para além da obtenção da resistência média do betão.

Os requisitos devem radicar em ensaios à compressão, feitos em provetes cilíndricos e salvo disposição em contrário, tendo em conta ensaios aos 28 dias. Se se pretenderem realizar outros ensaios para além dos 28 dias, importa que tal situação esteja conforme indicação do projecto, ou especificações. É necessário que os critérios de concepção prevejam a utilização de um valor de resistência à tracção do betão. Os ensaios laboratoriais serão feitos em conformidade com a ASTM C 330 [55], para estabelecer o valor de resistência correspondente.

No domínio do betão, os ensaios de resistência à tracção não devem ser utilizados como base para a sua aceitação. Os ensaios de tracção do betão (conforme exigidos), não são destinados ao controlo ou à aceitação da resistência do betão na obra. O controlo indirecto será mantido através dos requisitos dos ensaios de resistência à compressão normalmente estabelecidos.

Existem dois métodos para a selecção e ajuste das proporções dos constituintes, para betões normais: métodos para a estimativa do peso e para a estimativa do volume de betão. Há ainda um método de ajustamento estrutural que proporciona a quantidade de agregados leves que o betão pode conter.

Exige-se que as proporções dos materiais constituintes do betão sejam estudadas para obter: (a) trabalhabilidade e consistência que permitam condições de colocação dos betões, de modo a serem facilmente trabalháveis em cofragens e, envolvendo as armaduras, sem segregação excessiva; (b) Resistência a riscos especiais; (c) Conformidade com os requisitos do ensaio de resistência [3].

Quando são utilizados materiais diferentes em partes distintas da estrutura, é importante avaliar cada combinação. As proporções dos constituintes do betão serão estabelecidas em conformidade ou, alternativamente, devem satisfazer os requisitos aplicáveis, com base no campo da experiência ou avaliação das misturas, ou ambos.

A selecção da razão água/cimento deve ser suficientemente baixa, de forma a garantir um desempenho suficientemente elevado que satisfaça tanto os critérios da resistência, como os requisitos especiais de exposição. A ACI 318-02 [3] não inclui disposições relativas a riscos graves, tais como ácidos ou altas temperaturas e não está preocupada com considerações estéticas, como os acabamentos da superfície. Esses itens estão fora do âmbito de aplicação da norma e devem ser abrangidos nas especificações do projecto. O betão e as proporções dos seus constituintes são seleccionados para satisfazer os requisitos mínimos enunciados na norma e as exigências adicionais do caderno de encargos.

A norma aconselha o uso da experiência ou de misturas experimentais em laboratório, como sendo o melhor método de selecção das proporções dos constituintes da mistura de betão. Ao escolher uma mistura adequada, existem três etapas básicas. A primeira é a determinação do desvio-padrão. A segunda é a determinação da resistência média exigida. A terceira é a selecção das proporções dos constituintes da mistura, necessárias para produzir essa resistência média, quer por processos convencionais, quer através da avaliação de uma mistura adequada, resultante de experiências registadas.

Sempre que uma unidade de produção tem registos de ensaios de betões, é importante estabelecer um desvio padrão. Os registos de ensaios, a partir dos quais um desvio padrão é calculado: (a) deverão representar materiais, procedimentos de controlo de qualidade,

condições semelhantes, alterações dos materiais e proporções dos constituintes do betão e não deve ser mais exigente do que o trabalho proposto; (b) deverá representar o betão produzido para satisfazer uma dosagem especificada para o trabalho proposto; (c) devem ser constituídos por, pelo menos 30 ensaios consecutivos, ou dois grupos de ensaios consecutivos, totalizando, no mínimo, 30 ensaios, com excepção daquilo que está previamente planeado [3].

Sempre que uma unidade de produção de betão não tiver registos, mas tem um registo com base em 15 a 29 ensaios consecutivos, ficam preenchidas as exigências do ensaio. Nestes casos, o desvio padrão deve ser estabelecido como o produto do desvio padrão afectado pelo factor de modificação. Para ser aceitável, é necessário que o registo de ensaios cumpra os requisitos (a) e (b) e represente apenas um único registo de ensaios consecutivos que abranja um período não inferior a 45 dias.

Os elementos da mistura seleccionada deverão produzir uma resistência média sensivelmente superior à especificada, dependendo o grau de mistura ao longo do projecto, da variabilidade dos resultados dos ensaios. Neste sentido, se uma unidade de produção tiver 30 ensaios consecutivos de betões obtidos em condições semelhantes, o desvio padrão é calculado a partir desses resultados.

Conforme referido, se os ensaios forem inferiores a 30, mas se estão disponíveis pelo menos 15, para os valores calculados, o desvio padrão é aumentado através de um factor. Este procedimento resulta num aumento da resistência média requerida. É de referir que os factores são baseados na distribuição da amostragem de desvio da norma (equivalente a um registo a partir de 30 ensaios), protegendo contra a possibilidade de a menor amostra subestimar o desvio padrão. O desvio padrão utilizado no cálculo da resistência média exigida deve ser desenvolvido sob condições "semelhantes às esperadas". Esta exigência é importante para garantir betões aceitáveis.

Os ensaios de betão para determinar o desvio padrão são considerados como "similares", aos que se fizeram com os mesmos tipos de constituintes. Tratam-se de condições

restritivas de controlo da qualidade e de material, métodos de produção sobre o trabalho proposto, para garantir que a sua dosagem especificada não se desvie mais do que o exigido. Uma mudança no tipo de betão ou um grande aumento no nível de resistência podem aumentar o desvio padrão. Tal situação poderá ocorrer com uma mudança no tipo de agregado, ou uma mudança nos vazios dos betões. Apesar de poder haver um aumento do desvio padrão, quando a resistência sofre um aumento significativo, o incremento no aumento do desvio padrão deve ser um pouco menos do directamente proporcional ao forte aumento. Existindo alguma dúvida razoável, estima-se o desvio padrão usado para calcular a resistência média exigida. O coeficiente de variação é igual ao desvio padrão, a dividir pela resistência média.

A resistência média à compressão, utilizada como base para a selecção de proporções dos constituintes de betão será determinada usando o desvio padrão calculado. Uma vez determinado o desvio padrão, a resistência à compressão média necessária é obtida a partir do maior valor e é baseada na probabilidade da média de três ensaios consecutivos poder ser inferior à resistência à compressão especificada. Os constituintes produzirão betões com uma média igual ou superior à resistência à compressão média necessária. Devem ser acompanhados por um registo do local de ensaio e vários registos do ensaio de resistência das misturas.

Quando são utilizados registos de ensaios para demonstrar que se irão apresentar propostas de proporções dos constituintes de betões para obter a resistência média necessária, tais registos devem representar as condições materiais e similares para atingir aquelas metas que se esperam. Tendo como finalidade documentar a resistência média, são aceites os registos de ensaios constituídos por menos de 30, mas não inferior a 10 ensaios consecutivos. De acordo com o referido, isto pode acontecer, desde que os registos de ensaio abranjam um período de tempo não inferior a 45 dias.

Quando não está disponível um registo de resultados de ensaios de domínio aceitável, nas proporções dos constituintes do betão estabelecidas a partir de misturas, serão permitidas as seguintes restrições: (a) A combinação de materiais deve ser a que foi proposta no trabalho;

(b) A avaliação das proporções dos constituintes do betão e consistências necessárias para o trabalho proposto, deve ser feita utilizando, pelo menos, três razões diferentes de água/cimento, que englobem as exigências da resistência média; (c) A avaliação de misturas deve ser concebida para produzir uma variação na altura do volume dentro de $\pm 1,8$ cm do máximo permitido e, para vazios dos betões, dentro de $\pm 0,5$ % do máximo admissível; (d) Para cada relação água/cimento, pelo menos três ensaios em provetes cilíndricos, para cada idade de ensaio devem ser feitos e curados em conformidade com a ASTM C 192 [56]. Os provetes devem ser ensaiados aos 28 dias; (e) A partir de resultados de ensaios dos cilindros, é necessário elaborar uma curva, mostrando a relação entre água/cimento e a resistência à compressão no designado ensaio naquela idade; (f) Os limites máximos de água/cimento para o betão utilizados no trabalho proposto, proporcionados sem domínio de experiência ou avaliação de misturas, devem ser aqueles demonstrados pela curva a produzir a resistência média, salvo se uma menor razão água/cimento ou uma resistência maior for exigida, resultante do facto de não existir ainda histórico.

Se os dados exigidos não estão disponíveis, as proporções dos constituintes do betão serão fundamentados noutras experiências ou informações, aprovadas em projecto. A resistência média do betão produzido com materiais semelhantes às propostas para uso deve ser, pelo menos, 8,4 MPa maior do que a resistência à compressão especificada. Esta alternativa não deve ser utilizada para especificar dosagens de composições com resistências superiores à compressão 34,5 MPa.

Torna-se necessário que as composições de betão satisfaçam os requisitos de durabilidade, resistência à compressão e critérios de ensaio. Assim, como os dados só se tornam disponíveis durante a construção, exige-se que uma autorização a reduzir o valor pelo qual a resistência deve exceder o valor especificado da resistência requerida, se: (a) 30 ou mais resultados dos ensaios estão disponíveis e a média dos resultados do ensaio for superior ao requerido, utilizando um desvio padrão calculado em conformidade com a norma ACI 318-02 [3], ou (b) 15 a 29 resultados dos ensaios estão disponíveis e a média dos resultados

do ensaio for superior ao requerido, utilizando um desvio padrão calculado em conformidade com a norma e (c) os requisitos forem cumpridos.

Quando nenhuma experiência anterior, ou dados de avaliação de uma mistura satisfazem os requisitos, e sendo dada permissão especial, podem ser utilizados outros ensaios. Como combinações com diferentes constituintes podem variar consideravelmente ao nível da resistência, este procedimento não é permitido para uma resistência superior a 34,5 MPa, sendo que, a resistência média necessária deve exceder a resistência requerida em 8,4 MPa. O objectivo desta disposição é permitir continuar a trabalhar, quando há uma interrupção inesperada no abastecimento do betão e não há tempo suficiente para ensaios e avaliação, ou quando se trata de pequenas estruturas, onde o custo da avaliação do betão não se justifica.

O betão deve ser ensaiado em conformidade com as exigências. Os ensaios devem ser realizados com betão fresco no local, por técnicos de ensaio qualificados, com condições necessárias para preparar a cura dos provetes na obra, para preparar provetes necessários para os ensaios em laboratório e para registar a temperatura do betão fresco aquando da preparação dos provetes para ensaios de resistência. Os técnicos qualificados de laboratório devem realizar todas as análises laboratoriais.

A ACI 318-02 [3] faz um esforço para fornecer uma base clara para avaliar a aceitação do betão, bem como para indicar um rumo de acção a ser seguido quando os resultados dos ensaios de resistência não são satisfatórios. Os técnicos de laboratório e de obra podem estabelecer qualificações, através da certificação de programas. Os técnicos de obra incumbidos pela amostragem do betão, ensaios para detecção de abaixamento de peso, produtividade, índice de vazios, e temperatura, elaboração e cura de amostras certificadas em conformidade com os requisitos do ACI, ou os requisitos da ASTM C 1077 [57], ou um programa equivalente. O pessoal do laboratório deve ser certificado de acordo com os requisitos do ACI, ou os requisitos da norma ASTM C 1077 [57]. Por sua vez, os relatórios dos ensaios deverão ser imediatamente distribuídos ao proprietário, e registados e identificados os profissionais responsáveis pela concepção, contratante, subcontratantes,

fornecedores, a fim de permitirem a identificação atempada da conformidade, ou a necessidade de medidas correctivas.

3.3.1.1 - Frequência de ensaios

É de referir que as amostras para ensaios de resistência, para cada classe de betão colocada em cada dia, devem ser recolhidas não menos de uma vez por dia, não menos de uma vez por cada 115 m³ de betão, e não menos de uma vez para cada um dos 460 m² de superfície de lajes e paredes. No cálculo de superfície, apenas um lado da laje ou parede deve ser considerado. Num determinado projecto, se o volume total de betão é tal que a frequência dos ensaios exigidos proporcionaria menos de cinco ensaios para verificação da conformidade de uma determinada classe de betão, os ensaios devem ser feitos a partir de, pelo menos, cinco volumes seleccionados aleatoriamente, ou, retirados de cada volume de betão, se menos de cinco volumes são utilizados.

As amostras para ensaios de resistência são tomadas numa base estritamente aleatória se forem para medir a aceitabilidade do betão. Para ser representativa, a escolha dos tempos de amostragem, ou os volumes de betão a ser amostrados deverá ser feita com base na oportunidade, dentro do prazo de colocação. Não devem ser amostradas com base na aparência, conveniência, ou outros critérios eventualmente tendenciosos, porque as análises estatísticas perderão a sua validade. Não mais de um ensaio (média de dois cilindros fabricados a partir de uma amostra) deve ser tomado, a partir de uma única carga e a água não pode ser adicionada ao betão após a amostra ser colhida [3].

Quando a quantidade total de uma determinada classe de betão é inferior a 40 m³, os ensaios de resistência não são exigidos. Quando houver indícios de boa resistência, é apresentado e aprovado por uma entidade oficial. Diga-se que um resultado será a média de dois cilindros, feitos a partir da mesma amostra de betão e testada aos 28 dias ou à idade de ensaio designada para a determinação da resistência.

3.3.1.2 - Cura dos provetes

As amostras para ensaios de resistência à compressão devem ser recolhidas em conformidade com a ASTM C 172 [58]. Para o efeito, é necessário que os cilindros dos ensaios de resistência sejam moldados e curados de acordo com a ASTM C 31 [59] e ensaiados como prevê a ASTM C 39 [60].

O nível da resistência de uma classe de betões será considerado satisfatório se os seguintes requisitos forem atendidos: (a) cada média aritmética de três ensaios consecutivos de resistência deve ser igual ou superior à resistência especificada; (b) importa que nenhuma amostra, no ensaio de resistência (média de dois cilindros), seja inferior à resistência especificada, diminuída 3,5 MPa, quando a resistência requerida é menor ou igual a 34,5 MPa, ou diminuída 0,10 vezes a resistência especificada e quando a resistência requerida é superior a 34,5 MPa. Se algum dos requisitos não é atendido, deverão ser tomadas medidas para aumentar a média subsequente dos resultados do ensaio.

A avaliação e aceitação do betão podem ser julgadas imediatamente, logo que são recebidos os resultados dos ensaios no decurso do trabalho. Irão ocorrer, ocasionalmente, resistências dos ensaios que não atinjam esses critérios. Então, ter-se-á em conta a estatística com as variações esperadas, para decidir se o nível de resistência que está a ser produzido é, ou não, suficiente.

Tal como já se disse anteriormente, quando os betões não cumprem um dos requisitos de resistência, terão de ser tomadas medidas para aumentar os resultados médios dos ensaios do betão. Se o betão produzido foi suficiente para se acumularem pelo menos 15 ensaios, estes devem ser utilizados para estabelecer uma nova meta de resistência média, tal como atrás foi descrito. Se foram obtidos menos de 15 ensaios sobre a classe de betão em questão, a resistência média alvo deve ser pelo menos tão grande como a média utilizada na selecção inicial das proporções dos constituintes. Se a resistência média disponível dos ensaios feitos no projecto, é igual ou superior ao utilizado na selecção inicial de proporções dos constituintes, é exigido um novo aumento da resistência média. Nesse caso, as medidas

tomadas para aumentar o nível médio dos resultados dos ensaios dependerá das circunstâncias particulares, mas poderia incluir uma ou mais das seguintes condições: (a) um aumento da quantidade de cimento; (b) as alterações nas proporções dos constituintes do betão; (c) um melhor controlo das alterações dos constituintes do betão; (d) a redução do prazo de entrega; (e) o reforço do controlo do índice de vazios; (f) a melhoria na qualidade dos ensaios, incluindo estrito cumprimento de procedimentos do ensaio. Tais mudanças no funcionamento e procedimentos de ensaio, ou no tipo ou quantidade de cimento, não devem exigir uma nova reformulação dos procedimentos formais. No entanto, caso haja mudanças importantes nas fontes de cimento, agregados, ou adições, estas devem ser acompanhadas de provas indicativas de que o nível de resistência será melhorado. Os ensaios de laboratório em provetes cilíndricos para determinar o cumprimento desses requisitos devem ser acreditados, ou inspeccionados, tendo em conta a exigência da norma ASTM C 1077 [57], por um organismo reconhecido.

Se tal for exigido, deverão ser apresentados os resultados dos ensaios de resistência à compressão de cilindros, curados nas condições da obra, em conformidade com a ASTM C 31 [59]. Neste caso, quando estes provetes cilíndricos forem exigidos, eles deverão ser moldados pelo mesmo laboratório e ao mesmo tempo que os provetes cilíndricos a curar em laboratório.

Os procedimentos para proteger e curar betões devem ser melhorados quando a resistência dos provetes curados em obra, é inferior a 85 % da resistência dos cilindros curados em laboratório. Esta condição não se aplica, se no laboratório, a resistência obtida ultrapassa a especificada em mais de 3,5 MPa.

Se, em algum ensaio de resistência de laboratório, os resultados dos cilindros curados ficam abaixo do valor especificado, mais do que os valores indicados, ou se os ensaios dos cilindros curados em obra indicam deficiências na protecção e cura, importa tomar medidas para assegurar que a capacidade de carga da estrutura não fica comprometida. Se o betão aplicado é de baixa resistência e os cálculos indicam que a capacidade de carga é significativamente reduzida, deverão ser permitidos ensaios de carotagem na zona da

estrutura em causa, de acordo com a ASTM C 42 [61]. Nestas situações, devem ser tomadas três carotes para cada ensaio de resistência à compressão que fique abaixo dos valores pretendidos. A resistência dos ensaios de cilindros curados em condições de obra, pode obrigar a verificar a adequação da cura e protecção do betão na estrutura. A comparação é feita entre a resistência real medida na cura empregue em obra e na cura de laboratório dos cilindros. Contudo, os resultados para o trabalho de cura de cilindros são considerados satisfatórios se os cilindros não ficarem aquém da resistência especificada em mais de 3,5 MPa, mesmo que não atinja 85 % da resistência dos cilindros curados em laboratório. Na investigação da baixa resistência dos resultados dos ensaios, é necessário dar instruções relativas ao procedimento a ser seguido quando a resistência à compressão nos ensaios não conseguir cumprir o especificado como critérios de aceitação. Se uma investigação mais aprofundada for considerada necessária, tal investigação pode incluir ensaios não destrutivos, ou, em casos extremos, conforme já referido, a realização de ensaios de carotes na estrutura. Os ensaios não destrutivos, como a sonda de penetração, o martelo de impacto, o impulso de velocidade ultra sónica, podem ser úteis para determinar se se trata ou não de uma parte da estrutura que possui betão de uma baixa resistência, preocupante ou não. Esses ensaios são importantes, principalmente porque fornecem comparações dentro da mesma obra, em vez de medidas quantitativas de resistência. A baixa resistência pode, naturalmente, ser tolerada em muitas circunstâncias, mas torna-se uma questão de juízo de valor, por parte do projectista. Quando um lote de ensaios não garanta a adequação estrutural, pode ser prático para a construção, especialmente no caso de um piso, a realização de um ensaio de carga. Nos ensaios de carga, se o tempo e as condições o permitirem, pode ser feito um esforço para melhorar a resistência dos betões no local, utilizando cura húmida. A eficácia de um tal tratamento verificar-se-á por mais avaliações da resistência, utilizando procedimentos previamente discutidos. Um aspecto que pode influenciar a resistência obtida nos provetes de betão, acontece quando um lote de provetes obtido estiver exposto a um arrefecimento de água, dando origem a um gradiente de humidade entre o exterior e o interior do provete. Isso afectará negativamente a resistência à compressão.

No início do ensaio, é fornecido um tempo mínimo para o gradiente de humidade se dissipar. Os resultados dos ensaios de resistência à compressão, que obtenham uma média de 85 % do especificado, são realistas. Se o lote de ensaios for igual a 100%, não é realista, uma vez que as diferenças no tamanho dos provetes, as condições de obtenção de amostras, e os procedimentos para a cura não vão permitir esta igualdade nos valores obtidos. A ACI 318-02 [3] preocupou-se com questões estruturais de segurança, bem como instruções que visam esse objectivo. De acordo com estes requisitos, as carotes, que irão ou não confirmar a adequação estrutural, serão normalmente recolhidas em idades posteriores.

Nas obras deve-se estar preparado para o armazenamento e transporte das carotes, imediatamente após a extracção. Estas não devem ser ensaiadas antes de 48 horas e, o mais tardar, até 7 dias após a carotagem, salvo se houver algo diferente aprovado em projecto.

Um betão representado por um conjunto de ensaios deve ser considerado estruturalmente adequado se a média de três carotes é igual a, pelo menos, 85 % da resistência especificada e se uma única carote nunca é inferior a 75 % dessa mesma resistência.

Se os critérios não forem cumpridos e se a adequação estrutural permanecer em dúvida, o projectista deverá tomar outras medidas de acção que podem passar pela demolição dessa parte da estrutura [3].

3.3.1.3 - Preparação dos equipamentos e local de descarga

A preparação da colocação em obra de betões deve satisfazer as seguintes condições: (a) todos os equipamentos de mistura e transporte de betão devem estar limpos; (b) todos os escombros removidos do espaço a ser ocupado pelo betão; (c) as cofragens devidamente preenchidas; (d) a alvenaria em contacto com o betão bem humedecida; (e) a armadura cuidadosamente limpa de detritos de outros revestimentos; (f) a água removida do local de depósito antes do betão ser colocado, a menos que esteja a ser utilizado, ou salvo autorização; (g) outros materiais devem ser removidos antes do betão ser colocado contra betão endurecido.

Quanto à preparação dos equipamentos e local de depósito, são dadas recomendações para a mistura, manuseamento, transporte e colocação de betões, sendo apresentados em pormenor no "Guia de Medição, Mistura, Transporte, Colocação de Betão", relatado pelo ACI Comité 304. Este apresenta métodos e procedimentos de controlo, de manipulação e armazenagem de materiais, de medição, de tolerâncias, de colocação, de transporte e de cofragens. Importa centrar a atenção na utilização de equipamentos limpos e limpeza das armaduras, antes de se começar a depositar o betão, havendo necessidade de particular enfoque na serragem, aparas, pedaços de madeira e outros detritos que se podem recolher do interior da cofragem. É necessário limpar minuciosamente a armadura, relativamente a sujidade, ferrugem solta, ou outros revestimentos. Da água, caso não seja potável, devem ser recolhidas amostras e feitos ensaios.

3.3.1.4 - A mistura e o transporte

Todos os constituintes do betão devem ser bem misturados, até que haja uma distribuição uniforme de materiais, o que será apurado completamente antes da descarga. O betão pronto deve ser misturado e entregue conforme prevê a ASTM C 94 [62] ou da ASTM C 685 [63]. Em relação à mistura do betão, é importante que: (a) a mistura seja feita num misturador aprovado; (b) o misturador rode a uma velocidade recomendada pelo fabricante; (c) a mistura seja contínua durante, pelo menos, 1,5 minutos depois de todos os materiais estarem no tambor; (d) o manuseamento de materiais, dosagem e mistura se faça de acordo com as disposições aplicáveis da ASTM C 94 [62]; (e) se mantenha uma explicação detalhada no registo, para identificar: (1) número de lotes produzidos; (2) proporções dos materiais constituintes do betão; (3) localização aproximada do local de descarga; (4) data e hora de mistura e colocação.

O betão quando transportado a partir de uma auto-betoneira para local de depósito final, deverá ser feito através de métodos que previnam a separação ou perda de materiais. É necessário que o transporte seja capaz de proporcionar o fornecimento de betão no local de

colocação, sem separação de ingredientes e sem interrupções suficientes, de modo a não permitir a perda de plasticidade.

A mistura uniforme de betão de qualidade satisfatória, requer que os materiais sejam cuidadosamente misturados, até que o betão apresente aparência uniforme e todos os ingredientes estejam bem distribuídos. As amostras colhidas em diferentes partes de um volume de betão devem ter, essencialmente, o mesmo peso e índice de vazios. Por sua vez, refira-se que os métodos de ensaio de mistura uniforme são dados na ASTM C 94 [62]. Em relação ao tempo de mistura necessário, este dependerá da mistura e de muitos factores, incluindo quantidade do volume de betão, a resistência do volume, tamanho e classificação do agregado, bem como a eficiência do misturador. Os tempos excessivamente longos de mistura devem ser evitados, dada a eventual ‘trituração’ dos agregados.

Cada passo no manuseio e transporte dos betões deve ser controlado para manter a uniformidade dentro de um volume de betão, tal como de volume para volume de betão, sendo essencial evitar a segregação. A ACI 318-02 [3] exige que o equipamento para o manuseamento e transporte de betões seja capaz de fornecer betões para o local de descarga, de forma contínua e confiável, em todas as condições e para todos os métodos de posicionamento.

É imprescindível que o betão seja fabricado tão próximo, quanto possível, da sua posição final, para evitar segregação. É que o betão que tenha sido parcialmente endurecido e/ou contaminado por materiais estranhos, não deve ser depositado na estrutura. Por seu turno, o betão que foi remisturado, após composição inicial, não deve ser utilizado, sem prévia aprovação do responsável. Sendo necessárias juntas, requer-se que estas sejam feitas de acordo com a ACI 318-02 [3]. Registe-se que todos os betões devem ser cuidadosamente consolidados pelos meios adequados, e, durante a colocação, é imprescindível um bom preenchimento das cofragens e envolvimento das armaduras.

A remistura do betão pode causar a separação de materiais. Daí a norma advertir contra esta prática. Adicionar parcialmente água ao betão, não é permitido, excepto nos casos

previstos. Isto não exclui a prática reconhecida na norma ASTM C 94 [62] de adição de água ao betão, para trazê-lo até ao intervalo especificado, atendendo a que os limites máximos prescritos de tempo de mistura e relação água-materiais não foram violados. A norma de 1971 continha uma exigência que “quando as condições tornam difícil a consolidação, devem primeiro ser depositados nas cofragens lotes de argamassa com pelo menos 2,5 cm, contendo as mesmas proporções dos constituintes do betão, cimento, areia e água utilizados no betão”. Essa exigência foi suprimida na norma de 1977, uma vez que as condições de aplicabilidade não poderiam ser definidas com a precisão suficiente para justificar a sua inclusão como uma exigência da norma. Exige-se que a argamassa seja colocada imediatamente antes de depositar o betão e deve ser plástica (nem rígida, nem fluida). As recomendações para a consolidação do betão são dadas em pormenor no "Guia para a Consolidação do Betão", relatado pelo ACI Comité 309. Este apresenta informações actuais sobre o mecanismo de consolidação e dá recomendações sobre equipamentos e procedimentos para várias características das classes de betão.

3.3.1.5 - Cura do betão

É imprescindível que o betão (excepto o de alta resistência e/ou o de resistência acelerada) se mantenha acima de 10 °C e numa condição húmida, pelo menos durante os primeiros 7 dias após a colocação. No caso do betão de alta resistência e/ou o de resistência acelerada, este período será, pelo menos, de 3 dias. A cura pela alta pressão de vapor, vapor à pressão atmosférica, a temperatura e humidade, ou outros processos aceites, são permitidos para acelerar, aumentar a resistência e reduzir o tempo de cura. A aceleração da cura prestará uma resistência à compressão do betão, na fase de descarga, considerada pelo menos, igual à resistência exigida no projecto nessa fase. Quando exigido pelo projectista, os ensaios de resistência suplementares serão realizados para assegurar que a cura é satisfatória.

A resistência à compressão do betão curado por vapor não é tão elevada como a dos betões similares, curados continuamente em condições húmidas e com temperaturas moderadas. Além disso, o módulo de elasticidade, E_c , de provetes curados por vapor pode diferenciar dos provetes curados em humidade e temperaturas normais. Quando a cura a vapor é usada,

é aconselhável basear a mistura das proporções dos constituintes dos betões em ensaios de cilindros. Registe-se que os procedimentos da aceleração da cura requerem atenção especial à uniformidade e obtenção de resultados satisfatórios, sendo essencial evitar perdas de humidade durante a cura.

Além de exigir uma temperatura mínima de cura e tempo para uma resistência à compressão considerada normal, acelerada e de alta resistência pela ACI 318-02 [3], esta fornece um critério específico para avaliar a adequação do local da cura. Para ser realizada uma comparação razoável, entre o local de cura dos cilindros e o laboratório de cura dos mesmos, estes devem provir da mesma amostra. Em relação ao local de cura, exige-se que os cilindros sejam curados sob condições idênticas às da estrutura. Se a estrutura está protegida, o cilindro deve ser protegido. Os cilindros, daqueles locais da estrutura que não devam estar expostos directamente às condições meteorológicas, devem ser curados do mesmo modo e fornecidos com o mesmo grau de protecção e método de cura. Requer-se que os cilindros não sejam tratados em locais mais favoráveis que os elementos da estrutura que representam. Se o local de cura dos cilindros não tiver uma prestação satisfatória na comparação da resistência, importa tomar medidas para melhorar a cura. Se os ensaios indicarem uma eventual deficiência grave na resistência do betão na estrutura, os ensaios de carotes podem ser necessários, com ou sem complemento de cura húmida (ou imersa), a fim de verificar a adequação estrutural, conforme previsto.

É preciso que todas as superfícies de contacto dos betões, armaduras, cofragens, estejam protegidas da geada. Neste sentido, os materiais congelados ou materiais contendo gelo não devem ser utilizados. Durante o tempo quente exige-se atenção adequada aos materiais constituintes, métodos de produção, manipulação, colocação e protecção para prevenir e curar os betões da evaporação de água, de modo a não comprometer a resistência ou durabilidade do elemento da estrutura.

As recomendações para o clima frio, em relação ao fabrico do betão, são dadas em pormenor em "Clima frio - Fabrico de betão", relatados pelo ACI Comité 306, que apresenta requisitos e métodos de produção satisfatórios para os betões durante o frio. Por

sua vez, as recomendações para o clima quente no fabrico de betão são dados em pormenor no "Clima quente - Fabrico de betão", relatados pelo ACI Comité 305, que define o tempo quente e factores de efeito no betão, propriedades e práticas de construção recomendáveis e medidas para eliminar ou minimizar os efeitos indesejáveis.

3.3.2 - ACI 214R-02 [4] - Avaliação dos resultados dos ensaios de resistência do betão

3.3.2.1 - Introdução

Os procedimentos estatísticos fornecem instrumentos de grande valor na avaliação dos resultados dos ensaios de resistência. Informações provenientes de tais procedimentos são também valiosas para definir critérios e especificações. Na ACI 214R-02 [4] discutem-se as variações que ocorrem na resistência do betão e apresentam-se procedimentos estatísticos que são úteis na interpretação dessas variações, no que diz respeito a ensaios e aos critérios especificados.

Este documento fornece uma introdução aos ensaios de avaliação da resistência do betão. Os procedimentos descritos são aplicáveis à resistência à compressão, aos resultados dos ensaios exigidos pela ACI 301 [64], ACI 318 [3] e a outras especificações e códigos. Os conceitos estatísticos descritos são aplicáveis para outras análises dos betões, incluindo os resultados dos ensaios de flexão. A maioria dos projectos em construção nos Estados Unidos e Canadá exige uma rotina de amostragem em provetes cilíndricos. Estes provetes são geralmente moldados a partir de amostras de betões tomadas a partir da descarga de uma auto-betoneira ou de um volume de betões e moldados, curados e ensaiados sob procedimentos padronizados. Os resultados representam a resistência potencial dos betões e não a resistência real do betão na estrutura. Inevitavelmente, nos ensaios de resistência, os resultados variam. Ora essas variações na resistência medida podem ser originárias de qualquer das seguintes fontes: (a) variações das proporções e das características dos materiais constituintes do betão, da produção, da entrega e processo de manuseio e condições climáticas; (b) variações na amostragem, preparação, cura, e procedimentos de ensaio. As conclusões sobre a resistência do betão só podem ser derivadas de uma série de

ensaios, uma vez que as características da resistência do betão só podem ser estimadas com razoável precisão apenas quando um número adequado de ensaios é realizado, em estrita consonância com as práticas da norma e os métodos de ensaio. Acrescente-se que a informação derivada de procedimentos estatísticos também é valiosa no refinar e conceber critérios e especificações. A ACI 214R-02 [4], aborda variações que ocorrem na resistência do betão e apresenta procedimentos estatísticos que são úteis na interpretação destas variações, em relação a determinados ensaios e aceitação de critérios.

3.3.2.2 - Fontes de variação da resistência

As variações provenientes das alterações das propriedades do betão, podem ser devido a: (a) mudanças na razão água/cimento (A/C), causadas por fraco controlo da água; (b) variação excessiva de humidade nos agregados, ou, variação na medição da humidade nesses mesmos agregados; (c) variações na quantidade da água causadas por alterações na absorção de água pelos agregados, tal como no tempo de entrega e condições atmosféricas; (d) variações nas características e proporções dos constituintes (agregados, cimento e adjuvantes); (e) variações da mistura, transporte, colocação, e compactação; (f) variações de temperatura na cura do betão.

As variações devido às alterações nos métodos de ensaio, podem ser provocadas por métodos de amostragem incorrectos, variações devidas às técnicas de fabricação (manuseamento, armazenagem e cura de provetes recentemente preparados), moldes de má qualidade ou danificados, mudanças na cura (variação de temperatura e/ou variação no controlo da humidade), atrasos no transporte dos provetes para o laboratório, procedimentos de ensaio deficientes (preparação do provete) e utilização de equipamento descalibrado nos ensaios.

Para os procedimentos estatísticos descritos na ACI 214R-02 [4] serem válidos, os dados deverão ser obtidos a partir de amostras recolhidas por meio de uma amostragem aleatória, através de um plano concebido. A amostragem aleatória significa que cada amostra tem uma possibilidade igual de ser seleccionada. Para garantir essa condição, a selecção deve

ser feita através de um mecanismo, tal como uma tabela de números aleatórios. Esta norma centra-se numa discussão sobre as fontes de variabilidade do betão, como são produzidos, misturados e transportados, e da variabilidade adicional de amostras obtidas a partir de betões, como são entregues e ensaiadas. A norma descreve as ferramentas estatísticas utilizadas para avaliar a variabilidade do betão e determinar a conformidade com uma determinada especificação, incluindo tanto a variação aleatória, como a variação devido à sucessão de causas atrás enunciadas.

A magnitude das variações nos ensaios de resistência do betão é uma consequência directa do grau de controlo exercido sobre os materiais constituintes, a produção e o processo de transporte, bem como a colheita da amostra, a preparação, a cura e os procedimentos de análise. A variabilidade da resistência pode ser atribuída, fundamentalmente, a duas fontes diferentes: variabilidade na produção do betão, na mistura, nos constituintes, incluindo os volumes de betão e produção; variabilidade causada por variações inerentes ao processo de realização dos ensaios. Foram referidas atrás as principais fontes da variação da resistência: as alterações das propriedades do betão e as alterações nos métodos de ensaio. As causas atribuíveis às mudanças são normalmente associadas a uma mudança fundamental em alguns valores característicos, tais como a média, desvio padrão ou coeficiente de variação, ou outra medida estatística.

Para um determinado conjunto de matérias-primas, a resistência é regulada em grande medida pela relação água/cimento (A/C). O primeiro critério para a produção de betão de resistência coerente, consiste em manter um controlo apertado sobre a razão água/cimento (A/C). Tendo em conta a quantidade de cimento que pode ser medida com razoável precisão, para o cálculo desta razão, é essencialmente exigido um controlo rigoroso da quantidade total de água utilizada. Diga-se que a necessidade hídrica do betão é fortemente influenciada pela origem e características dos agregados, cimento, adjuvantes e adições utilizados nas misturas de betão, bem como pela consistência desejada para a aplicação em obra. A quantidade de água também varia com o índice de vazios e pode aumentar com a temperatura. Tal variação na quantidade da água pode ser causada por alterações dos materiais constituintes e variações na dosagem. Uma fonte comum de variação é a adição

de água em obra, para facilitar a trabalhabilidade do betão. A água pode ser introduzida no betão devido a muitos factores. Por um lado, a quantidade de água adicionada intencionalmente é relativamente fácil de contabilizar. No entanto, a água proveniente de outras fontes, como a libertação de humidade dos agregados, água deixada na auto-betoneira, ou adicionada mas não registada, pode ser difícil de determinar. Para uma mistura semelhante de betão à mesma temperatura e igual índice de vazios, as diferenças de resistência de volume de betão para volume de betão podem ficar a dever-se a uma alteração no teor de água do betão. As variações na resistência são, também, influenciadas pelo índice de vazios, existindo uma relação inversa entre a resistência e o índice de vazios, índice que varia de acordo com as variações dos materiais constituintes, a granulometria da mistura, as condições de aplicação, a compactação, o ambiente e as condições do local. Para o controlo de um bom betão, o índice de vazios deve ser acompanhado de perto na construção. Por sua vez, a temperatura do betão fresco afecta tanto a quantidade de água necessária para alcançar a boa consistência, como, por arrastamento, o índice de vazios. Além disso, a temperatura do betão durante as primeiras 24 horas de cura pode ter um efeito significativo, mais tarde, na resistência do betão. Por seu lado, os adjuvantes podem contribuir para a variabilidade, pois cada mistura introduz outra variável e fonte de variação. A mistura de adições deve ser cuidadosamente controlada. Neste sentido, as seguintes práticas de construção podem vir a causar variações *in-situ* da resistência do betão: mistura inadequada, má compactação, atrasos na colocação, má cura e insuficiente protecção em idades precoces. Estas diferenças, porém, não serão reflectidas em provetes fabricados e armazenados sob condições normais de laboratório.

O ensaio para determinar o cumprimento do caderno de encargos deve ser conduzido em estrita consonância com os métodos especificados nos documentos contratuais adequados, por exemplo, na ASTM C31 [59] e na ASTM C39 [60]. Os ensaios de aceitação fornecem uma estimativa do potencial da resistência do betão. A humidade e a temperatura de cura são, frequentemente, razões para a menor resistência nos resultados dos ensaios. É de referir que um projecto pode ser penalizado desnecessariamente quando variações deste tipo são excessivas. Os desvios dos procedimentos normalizados resultam, frequentemente, numa menor resistência. A cura e manuseamento dos provetes devem ser realizados por

técnicos certificados, experientes e pessoal habilitado, e os procedimentos devem ser cuidadosamente monitorizados. As regras para manter as condições especificadas de cura, devem ser aplicadas. O endurecimento dos provetes de betão é feito lentamente e não pode ser perturbado demasiado cedo, conforme a ASTM C31 [59]. A importância da utilização rigorosa de equipamentos de ensaio devidamente calibrados e a utilização de procedimentos de amostragem rigorosos é essencial porque os resultados dos ensaios não podem ser mais precisos do que os equipamentos e procedimentos utilizados. A menor variação dos resultados dos ensaios não irá indicar necessariamente resultados de ensaios verdadeiros porque, uma vez aplicado como rotina, o erro sistemático pode fornecer resultados uniformes, mas que são tendenciosos. O equipamento de laboratório e os procedimentos devem ser calibrados e verificados periodicamente. Requer-se que os técnicos de laboratório sejam treinados e certificados no nível adequado e avaliados sistematicamente.

3.3.2.3 - Análise dos resultados da resistência à compressão

O ensaio de um único provete não constitui um resultado. O ensaio de resistência é o resultado da média da resistência de dois cilindros fabricados, a partir da mesma amostra de betão e testados na mesma idade. O registo de ensaios de misturas de betão semelhante pode ser usado para calcular o desvio padrão. Por sua vez, as misturas de betão são consideradas semelhantes se os seus resultados variam num intervalo de 6,9 MPa. Torna-se necessário um número suficiente de ensaios para indicar, com precisão, a variação no betão produzido e para permitir procedimentos estatísticos a aplicar, com a finalidade de interpretar os resultados do ensaio. Os procedimentos estatísticos fornecem uma base sólida para a determinação, a partir desses resultados, da potencial qualidade e resistência dos betões e expressam os resultados de forma mais útil.

O resultado da resistência num ensaio é definido como a média de resistência de todos os exemplares da mesma idade, fabricados a partir de uma amostra colhida de um único volume de betão. Conforme já referido, a resistência de um ensaio não pode ser calculada com base em apenas um provete, sendo necessário um mínimo de dois. Os ensaios de

resistência do betão são normalmente tratados como se eles se dividissem num padrão semelhante à frequência normal de distribuição. Uma distribuição assimétrica pode resultar da alta resistência de betões em que o factor limitante é a resistência do agregado. Se os dados não são simétricos sobre a média, estes podem ter sido distorcidos. Se a distribuição também é um pico ou é demasiado plana, é sinal que existe uma distorção. Uma quantidade de dados, apresentados significativamente em assimetria, não são normalmente distribuídos e qualquer análise, presumindo uma distribuição normal, pode ser enganosa e não informativa. Os dados disponíveis indicam que uma distribuição normal é apropriada ao abrigo da maioria dos casos, quando a resistência do betão não exceder 70 MPa. A assimetria deve ser considerada para a avaliação estatística de betão de alta resistência. Existem equações simplificadas que permitem medir a assimetria para um determinado conjunto de dados. Na ACI 214R-02 [4], os resultados de resistência dos ensaios são assumidos como pertencentes a uma distribuição normal, salvo indicação em contrário. Quando há bom controlo, os valores de resistência do ensaio tendem a concentrar-se próximo do valor médio, ou seja, o histograma dos resultados dos ensaios é alto e estreito. Quando a variação nos resultados da resistência aumenta, a propagação dos dados aumenta e a curva da distribuição torna-se mais baixa e maior. A distribuição normal pode ser totalmente definida matematicamente por dois parâmetros estatísticos: a média e o desvio padrão. Estes parâmetros estatísticos da resistência podem ser calculados como é a seguir indicado.

A média dos resultados dos ensaios de resistência, f_{cm} , é calculada utilizando a equação 3.14,

$$f_{cm} = \frac{\sum_{i=1}^n f_{ci}}{n} = \frac{1}{n} \sum f_{ci} = \frac{1}{n} (f_{c1} + f_{c2} + f_{c3} + \dots + f_{cn}) \quad (3.14)$$

onde f_{ci} são os resultados de resistência, resultantes da média do ensaio de resistência de pelo menos dois cilindros; f_{c2} é o segundo resultado de resistência; $\sum f_{ci}$ é a soma de todos os resultados de resistência dos ensaios; e n é o número de ensaios no registo.

O desvio padrão é a mais reconhecida medida de dispersão dos resultados de ensaio, relativamente ao seu valor médio. Uma estimativa do desvio padrão da população σ é o desvio padrão simples s_n . A população é constituída por todos os dados possíveis, muitas vezes considerados como sendo um número infinito de dados.

A amostra é uma parcela da população constituída por uma quantidade finita de dados. O desvio padrão da amostra é obtido pela equação 3.15, ou pelo seu equivalente algébrico, equação 3.16. A última equação é preferível para fins de programação, porque é mais simples e minimiza erros de arredondamento. Ao utilizar software, é importante assegurar que uma fórmula do desvio padrão simples é usada para calcular s_n

$$s_n = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (f_{ci} - f_{cm})^2}{n - 1}} = \sqrt{\frac{(f_1 - f_{cm})^2 + (f_2 - f_{cm})^2 + \dots + (f_n - f_{cm})^2}{n - 1}} \quad (3.15)$$

o que é equivalente a

$$s_n = \sqrt{\frac{n \sum_{i=1}^n f_{ci}^2 - (\sum_{i=1}^n f_{ci})^2}{n(n-1)}} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n f_{ci}^2 - n f_{cm}^2}{n-1}} \quad (3.16)$$

onde s_n é o desvio padrão da amostra, n é o número de resultados do ensaio de resistência registados, f_{cm} é a média, dos resultados dos ensaios de resistência, e $\sum f_{ci}$ é a soma dos resultados dos ensaios de resistência. Ao considerar dois registos separados de misturas de betão com resistência semelhante aos resultados dos ensaios, é muitas vezes necessário determinar o desvio padrão também denominado o desvio padrão agrupado. A média estatística do desvio padrão de dois registos é calculada como indicado na equação 3.17.

$$s_n = \sqrt{\frac{(n_A - 1)(s_A)^2 + (n_B - 1)(s_B)^2}{(n_A + n_B - 2)}} \quad (3.17)$$

onde s é a média estatística do desvio padrão, ou desvio padrão agrupado, calculado a partir de dois registos, s_A e s_B são os desvios padrão do Registo A e Registo B, respectivamente, e n_A e n_B é o número de ensaios no Registo A e Registo B, respectivamente.

Várias outras medidas estatísticas são utilizadas de forma comum para a comparação de diferentes conjuntos de dados ou de estimativa de dispersão, na ausência de uma amostra de tamanho estatisticamente válida.

O desvio padrão da amostra expresso em percentagem da resistência média é designado como coeficiente de variação:

$$V = \frac{s_n}{X} \cdot 100 \quad (3.18)$$

em que V é o coeficiente de variação, s é o desvio padrão das amostras, e f_{cm} é a resistência média. O coeficiente de variação é menos afectado pela magnitude do nível de resistência e é, portanto, mais útil do que o desvio padrão na comparação com o grau de controlo de uma vasta gama de resistências à compressão. O coeficiente de variação é normalmente utilizado para comparar a dispersão dos registos de resultados dos ensaios de resistência.

Na avaliação dos resultados dos ensaios de betões, a amplitude R de um resultado de um ensaio de resistência é encontrada, subtraindo o resultado do provete com menor resistência do resultado do provete com maior resistência, de dois ou mais provetes utilizados para calcular um resultado de resistência. A média neste cálculo é usada para estimar o desvio padrão dentro do ensaio e é relatado com maior detalhe mais à frente, nas Variações de Resistência.

A variação nos resultados de resistência pode ser atribuída a duas fontes diferentes: 1. As variações nos métodos de ensaio; 2. As variações nas propriedades ou proporções dos materiais constituintes da mistura do betão, as variações na produção, entrega ou manuseamento e variações nas condições climáticas.

A variabilidade associada ao ensaio é estimada pela variação dentro do ensaio com base nas diferenças de resistência de provetes, relativamente a um resultado de resistência. A variação dentro do ensaio é afectada por variações na amostragem, moldagem, compactação, transporte, cura, nivelamento e ensaio dos provetes. Um único resultado do ensaio de resistência de uma mistura de betão não fornece, no entanto, dados suficientes para análise estatística. Como acontece com qualquer estimativa estatística, a confiança na estimativa é em função do número de resultados de ensaios. O desvio padrão dentro do ensaio é calculado a partir da amplitude média \bar{R} de pelo menos 10 resultados de resistência dos ensaios de uma mistura de betão, testados na mesma idade, e os valores adaptados através de d_2 do Quadro 3.6 utilizando a equação 3.19.

Quadro 3.6 - Factores para o desvio padrão

Nº. de provetes	d_2
2	1,128
3	1,693
4	2,059

Na equação 3.20, o coeficiente de variação, em percentagem, é determinado a partir do desvio padrão e da resistência média.

$$s_1 = \frac{1}{d_2} \cdot \bar{R} \quad (3.19)$$

$$V_1 = \frac{s_1}{f_{cm}} \cdot 100 \quad (3.20)$$

onde s_1 é o desvio padrão da amostra de ensaio, \bar{R} é a amplitude de pelo menos 10 ensaios, d_2 é um factor para calcular o desvio padrão dentro do ensaio a partir da média, V_1 é a coeficiente de variação da amostra de ensaio, e f_{cm} é a resistência média do ensaio. Como exemplo, se dois provetes são concebidos, para cada um dos 10 ensaios de resistência separados (o número mínimo recomendado) e a amplitude R foi de 1,75 MPa, o desvio padrão ($d_2 = 1,128$ para 2 provetes) é $1,75/1,128 = 1,55$ MPa. A precisão na ASTM C 39 [59] indica um coeficiente de variação para provetes cilíndricos curados no laboratório de

2,37% e para provetes curados em obra de 2,87%. Os erros consistentes, nos procedimentos de ensaio, não são necessariamente detectados através da comparação dos resultados dos ensaios de provetes a partir da mesma amostra de betão.

As variações nos resultados da resistência à compressão do betão reflectem diferenças na resistência de volume para volume de betão que podem ser atribuídas a alterações em: (a) características e propriedades dos constituintes e (b) dosagem, mistura, e amostragem. Nos ensaios, os efeitos da variação normalmente não são detectados pela análise aos resultados dos ensaios dos provetes testados na mesma idade e provenientes do mesmo volume, porque estes provetes tendem a ser tratados de igual forma.

Um dos principais efeitos de avaliação estatística dos resultados dos betões é o de identificar as fontes de variabilidade. Este conhecimento pode então ser utilizado para ajudar a determinar medidas adequadas para manter o nível desejado de controlo. Várias técnicas podem ser usadas para detectar variações na produção de betão, materiais de transformação e manipulação. Uma abordagem simples é comparar a variabilidade total e, dentro dessa variabilidade entre ensaios, utilizar o desvio padrão ou o coeficiente de variação. Para verificar qual é que se utiliza sabemos que o desvio padrão continua razoavelmente constante ao longo de um leque limitado de resultados. Porém, vários estudos mostram que o coeficiente de variação é mais constante, apresentando assim mais vantagens. A comparação do nível de controlo entre compressão e flexão é mais facilmente realizada utilizando o coeficiente de variação. O coeficiente de variação é também considerado como mais aplicável na estatística, no âmbito do ensaio de avaliações. Tanto o desvio padrão, como o coeficiente de variação, podem ser usados para avaliar o nível de controlo de resistências de misturas de betão. Mas para resistências mais elevadas, geralmente aquelas superiores a 34,5 MPa, a utilização do coeficiente de variação é preferível.

As normas de controlo apresentadas no Quadro 3.7 são adequadas a betões com resistência até 34,5 MPa. O Quadro 3.8 fornece normas de controlo dos ensaios para resistências superiores a 34,5 MPa. Para resistências superiores a 34,5 MPa, na variação global é

utilizado o coeficiente de variação, uma vez que ao trabalhar com resistências elevadas, o desvio padrão tem pouca leitura. Estas normas de controlo foram adoptadas com base no exame e análise de resistência à compressão dados pelos ACI Comité 214 e ACI Comité 363.

Quadro 3.7 - Controlo do betão para $f_{ck} \leq 34,5$ MPa

Variação global					
Situação em análise	Desvio padrão para diferentes controlos tipo, MPa				
	Excelente	Muito Bom	Bom	Razoável	Mau
Ensaio em obra	Abaixo de 2,8	2,8 a 3,4	3,4 a 4,1	4,1 a 4,8	Acima de 4,8
Ensaio em laboratório	Abaixo de 1,4	1,4 a 1,7	1,7 a 2,1	2,1 a 2,4	Acima de 2,4
Variação dos ensaios					
Situação em análise	Coeficiente de variação para diferentes controlos tipo, %				
	Excelente	Muito Bom	Bom	Razoável	Mau
Ensaio em obra	Abaixo de 3,0	3,0 a 4,0	4,0 a 5,0	5,0 a 6,0	Acima de 6,0
Ensaio em laboratório	Abaixo de 2,0	2,0 a 3,0	3,0 a 4,0	4,0 a 5,0	Acima de 5,0

Quadro 3.8 - Controlo do betão $f_{ck} > 34,5$ MPa

Variação global					
Situação em análise	Coeficiente de variação para diferentes controlos tipo, %				
	Excelente	Muito Bom	Bom	Razoável	Mau
Ensaio em obra	Abaixo de 7,0	7,0 a 9,0	9,0 a 11,0	11,0 a 14,0	Acima de 14,0
Ensaio em laboratório	Abaixo de 3,5	3,5 a 4,5	4,5 a 5,5	5,5 a 7,0	Acima de 7,0
Variação dos ensaios					
Situação em análise	Coeficiente de variação para diferentes controlos tipo, %				
	Excelente	Muito Bom	Bom	Razoável	Mau
Ensaio em obra	Abaixo de 3,0	3,0 a 4,0	4,0 a 5,0	5,0 a 6,0	Acima de 6,0
Ensaio em laboratório	Abaixo de 2,0	2,0 a 3,0	3,0 a 4,0	4,0 a 5,0	Acima de 5,0

Os ensaios de resistência deverão ser realizados utilizando cilindros com 150 mm de diâmetro e 300 mm de altura, o tamanho padrão segundo a ASTM C 31 [59]. Os padrões de controlo são, portanto, aplicáveis à dimensão destes provetes, testados aos 28 dias e podem ser considerados aplicáveis, com pequenas diferenças, a outras dimensões de cilindros, tais como 100 x 200 mm, reconhecido na ASTM C 31 [59].

3.3.2.4 - Critérios para estabelecer a resistência mínima exigida

A resistência do betão numa estrutura e a resistência à compressão em provetes cilíndricos são obtidos a partir de amostras de betões, e não serão necessariamente retiradas dos mesmos volumes de betão. Os provetes obtidos, a partir duma amostra de betão e utilizados para aceitação contratual deverão ser curados e ensaiados sob condições rigorosamente controladas. Estes cilindros são, geralmente, a principal prova da qualidade do betão usado na estrutura. O projectista especifica a resistência desejada, a frequência de ensaio e a tolerância permitida na resistência à compressão. Qualquer quantidade especificada, incluindo a resistência, possibilita uma tolerância. É impraticável especificar um valor mínimo absoluto, porque há sempre a hipótese de aparecerem resultados mais baixos, devido à variação aleatória, mesmo quando o controlo é bom. Não se pode prever que os provetes sejam uma representação precisa do betão em cada parte da estrutura. Estão previstas também, em projecto, metodologias que limitam os desvios, mas sem comprometer a segurança da estrutura. Tais metodologias evoluíram, usando métodos probabilísticos com base nas práticas de construção, procedimentos e controlo da qualidade das técnicas utilizadas na indústria da construção. Se as amostras são escolhidas aleatoriamente, existe apenas uma pequena probabilidade de que a baixa resistência dos resultados corresponda aos betões localizados numa determinada área crítica. Ora as consequências de uma baixa resistência de betão, numa zona localizada de uma estrutura, dependem de muitos factores, incluindo a probabilidade de uma sobrecarga precoce, a localização e resistência da zona do elemento estrutural de baixa qualidade, a resistência indicada no projecto e as implicações económicas e outras, da perda de funcionalidade ou falha estrutural. Para satisfazer com base estatística os requisitos de desempenho, importa que a resistência média do betão seja superior à pretendida. A resistência de compressão

necessária especificada é a resistência utilizada na mistura, dependendo da variabilidade dos resultados esperados, medidos pelo coeficiente de variação ou desvio padrão e na proporção permitida de resultados abaixo do adequado e critérios de aceitação especificados.

Para estabelecer a estimativa de uma resistência média exigida, é necessária uma variabilidade do betão a ser fornecido para a construção. O registo da resistência de ensaio, usado para estimar o desvio padrão, ou coeficiente de variação, deve incluir um grupo de pelo menos 30 ensaios consecutivos. Requer-se que os dados utilizados para estimar, representam a variabilidade de betões produzidos para cumprir uma determinada resistência perto do previsto para a proposta de trabalho e similares na composição e produção. Conforme referido, a exigência de 30 ensaios consecutivos de resistência pode ser satisfeita por meio do ensaio consecutivo de 30 ensaios da mesma classe de betão, ou de dois registos de ensaios que somem 30 ou mais resultados. Se o número de resultados disponível é inferior a 30 é necessária uma abordagem mais conservadora. Uma série com tão poucos registos, como 15 resultados, pode ser usado para estimar o desvio padrão. No entanto, o valor calculado do desvio padrão, deverá ser aumentado, devido à incerteza na sua estimativa. Na ausência de informações suficientes, exige-se uma abordagem muito conservadora. Em geral, as mudanças em materiais e procedimentos terão sempre um maior efeito sobre a resistência à compressão. Os dados utilizados devem representar a variabilidade do betão produzido, para satisfazer uma dosagem especificada, próxima do previsto para a proposta de trabalho. As mudanças significativas na composição são devido a mudanças no tipo de produto, marca ou proveniência do cimento, misturas, proveniência dos agregados e proporções da mistura. Se apenas um pequeno número de resultados de ensaios está disponível, as estimativas do desvio padrão e coeficiente de variação tornam-se menos fiáveis. Se existe informação anterior para o betão, a partir da mesma obra, as informações podem ser utilizadas para determinar um valor do desvio padrão. De qualquer modo, é preferível a utilização de pelo menos 30 resultados.

Quadro 3.10 - Factores de modificação para o desvio padrão

Número de ensaios	Factores de modificação
Menos de 15	Ver Quadro 3.11
15	1,16
20	1,08
25	1,03
30 ou mais	1,00

Quadro 3.11 - Mínima resistência média exigida sem dados suficientes

$f_{cm,alvo} = f_{ck} + 6,9 \text{ MPa}$	quando $f_{ck} < 20,7 \text{ MPa}$
$f_{cm,alvo} = f_{ck} + 8,3 \text{ MPa}$	quando $f_{ck} \geq 20,7 \text{ MPa}$ e $f_{ck} \leq 34,5 \text{ MPa}$
$f_{cm,alvo} = 1,10 f_{ck} + 4,8 \text{ MPa}$	quando $f_{ck} > 34,5 \text{ MPa}$

Se for necessário utilizar os dados provenientes de dois registos de ensaios para obter pelo menos 30 resultados, os registos devem representar misturas de betão semelhantes, contendo matérias-primas igualmente semelhantes e produzidas sob similares procedimentos de controlo de qualidade e condições, obtendo-se uma determinada resistência à compressão, que não difere em mais de 6,9 MPa da resistência requerida. Neste caso, o desvio padrão agrupado pode ser calculado utilizando a equação 3.17. Quando o número de ensaios de resistência for inferior a 15, o desvio padrão calculado não é suficientemente fiável. Nestes casos, a resistência do betão é proporcional à produção, como exigido nos Quadros 3.10 e 3.11. Como, normalmente, uma obra progride mais rapidamente do que a obtenção dos resultados, todos os resultados disponíveis devem ser analisados para obter uma estimativa mais fiável do desvio-padrão apropriado para esse projecto. Registe-se que a resistência média mínima exigida pode ser calculada usando a equação 3.21 e 3.22, ou, de forma equivalente, 3.23 ou 3.24, ou Quadro 3.11, dependendo se o coeficiente de variação ou desvio padrão é o usado ou não. O valor da resistência média alvo, $f_{cm,alvo}$, para um determinado conjunto de resultados dos ensaios de resistência, é o mesmo, independentemente do coeficiente de variação ou desvio padrão utilizado.

$$f_{cm,alvo} = f_{ck} / (1 - zV) \quad (3.21)$$

$$f_{cmalvo} = f_{ck} + zS_n \quad (3.22)$$

Na maioria dos casos, a parcela f_{ck} é substituída por um critério de aceitação específico, tal como $f_{ck} - 3,5 \text{ MPa}$ ou $0,90 f_{ck}$.

Quando uma especificação exige o cálculo da média de um número de ensaios, tais como a média de três resultados consecutivos, o desvio padrão ou coeficiente de variação dos mesmos será inferior ao calculado, utilizando todos os resultados do ensaio. O erro padrão de uma média de resultados é calculado pela divisão do desvio padrão dos resultados pela raiz quadrada do número de ensaios (n) em cada média. Para médias dos resultados consecutivos, das equações 3.23 e 3.24 tem-se:

$$f_{cmalvo} = f_{ck} / (1 - zV/\sqrt{n}) \quad (3.23)$$

$$f_{cmalvo} = f_{ck} + zS_n/\sqrt{n} \quad (3.24)$$

O valor de n normalmente especificado é 3. Este valor não deve ser confundido com o número de resultados dos ensaios utilizados para estimar a média e desvio padrão do registo. Assim que a variabilidade aumenta, $f_{cm,alvo}$ aumenta e, desse modo, ilustra o bom controlo. O Quadro 3.12 fornece valores de z para diferentes percentagens de ensaios, caindo entre a média $+z\sigma$ e a média $-z\sigma$. Trata-se do valor pelo qual a resistência média exigida deverá exceder a resistência à compressão especificada. Os seguintes exemplos são os critérios utilizados para determinar a resistência média exigida [4].

Quadro 3.12 – Valores da constante z em função da probabilidade associada

Percentagem de ensaios com $\pm z\sigma$	Probabilidade de ser inferior ao valor limite	z
40	3 em 10 (30%)	0,52
50	2,5 em 10 (25%)	0,67
60	2 em 10 (20%)	0,84
68,27	1 em 6,3 (15,9%)	1,00
70	1,5 em 10 (15%)	1,04
80	1 em 10 (10%)	1,28
90	1 em 20 (5%)	1,65
95	1 em 40 (2,5%)	1,96
95,45	1 em 44 (2,3%)	2,00
98	1 em 100 (1%)	2,33
99	1 em 200 (0,5%)	2,58
99,73	1 em 741 (0,13%)	3,00

a) Critério n.º 1

O projectista pode especificar uma percentagem máxima de ensaios de resistência aleatórios que serão autorizados a serem inferiores a uma resistência à compressão característica. Este critério não é usado em especificações baseadas em métodos de avaliação de resistências, ou em situações onde a resistência média é uma parte fundamental do projecto, como em algumas especificações. Uma exigência típica é a de não permitir mais de 10% de resultados abaixo da resistência à compressão especificada. Nestas situações, as classes de betão estarão geralmente entre 21 e 35 MPa.

a.1) Método do desvio padrão

Como exemplo, assumindo que existem dados suficientes para dizer que o desvio padrão de uma mistura de betão é de 3,58 MPa, calculou-se a resistência requerida para esse betão, cuja resistência característica é de 30 MPa. Do Quadro 3.12, 10% da probabilidade de distribuição normal ficar abaixo da resistência característica traduz-se em 1,28 vezes o desvio padrão. Usando a equação 3.24, obtém-se:

$$f_{cm,alvo} = f_{ck} + z_s s_n = 30 + 1,28 \times (3,58) = 34,6 \text{ MPa}$$

Assim, para uma determinada resistência à compressão de 30 MPa, a mistura de betões deve ser caracterizada por uma resistência média, não inferior a 34,6 MPa, para que, em média, não mais de 10% dos resultados fique abaixo da especificada f_{ck} .

a.2) Método do coeficiente de variação

Exemplificando, assumindo que existem dados suficientes para dizer que o coeficiente de variação de uma mistura de betão é de 10,5%, calculou-se a resistência requerida para esse betão, cuja resistência característica é de 30 MPa. Do Quadro 3.10, 10% da probabilidade de distribuição normal ficar abaixo da resistência característica traduz-se em 1,28 vezes o desvio padrão. Usando a equação 3.23, obtem-se:

$$f_{cm,alvo} = f_{ck} / (1 - zV) = 30 / [1 - (1,28 \times 10,5/100)] = 34,7 \text{ MPa}$$

Assim, para uma determinada resistência à compressão de 30 MPa, a mistura de betões deve ser caracterizada por uma resistência média, não inferior a 34,7 MPa, para que, em média, não mais de 10% dos resultados fique abaixo da especificada f_{ck} .

b) Critério n.º 2

O projectista pode especificar uma probabilidade em que uma média de n ensaios consecutivos de resistência ficará abaixo da resistência à compressão especificada. Por exemplo, um dos critérios de aceitação na ACI 318 [3] estipula que a média de quaisquer três resultados consecutivos de resistência deve ser igual ou superior a f_{ck} . Uma resistência média requerida exigida poderá ser estabelecida, de maneira a que as não conformidades não sejam superiores a 1 %.

b.1) Método do desvio padrão

Exemplificando, assumindo que existem dados suficientes para dizer que o desvio padrão de uma mistura de betão é de 3,58 MPa, calculou-se a resistência requerida para esse betão, cuja resistência característica é de 30 MPa. Do Quadro 3.12, 1% da probabilidade de distribuição normal ficar abaixo da resistência média traduz-se em 2,33 vezes o desvio padrão. Usando a equação 3.26, obtém-se:

$$f_{cm,alvo} = f_{ck} + z s_n / \sqrt{n} = 30 + [(2,33 \times 3,58) / \sqrt{3}] = 34,8 MPa$$

Assim, para uma determinada resistência à compressão de 30 MPa, a mistura de betões deve ser caracterizada para uma resistência média, não inferior a 34,8 MPa, para que, em média, não mais de 1 % da média móvel de três resultados fique abaixo da especificada f_{ck} .

Na ACI 318 [3], a equação 3.26 é apresentada de forma ligeiramente diferente. O valor 1,34 na ACI 318 [3] é equivalente ao termo $z/\sqrt{n}=2,33/\sqrt{3}=1,34$, porque ambas, z e n , já estão especificadas.

b.2) Método do coeficiente de variação

Por exemplo, assumindo que existem dados suficientes para dizer que o coeficiente de variação de uma mistura de betão é de 10,5%, calculou-se a resistência requerida para esse betão, cuja resistência característica é de 30 MPa. Do Quadro 3.12, 1% da probabilidade de distribuição normal ficar abaixo da resistência média traduz-se em 2,33 vezes o desvio padrão. Usando a equação 3.25, obtém-se:

$$f_{cm,alvo} = f_{ck} / (1 - zV / \sqrt{n}) = 30 / [1 - (2,33 \times 10,5/100) / \sqrt{3}] = 34,9 MPa$$

Assim, para uma determinada resistência à compressão de 30 MPa, a mistura de betões deve ser caracterizada por uma resistência média, não inferior a 34,9 MPa, para que, em média, não mais de 1 % da média móvel de três resultados fique abaixo da especificada f_{ck} .

c) Critério n.º 3

O projectista pode especificar uma certa probabilidade, para que um resultado aleatório nunca fique abaixo de uma resistência à compressão especificada. Por exemplo, este critério é utilizado na ACI 318 [3], que estipula que nenhum resultado (quando um resultado é a média de pelo menos dois provetes fabricados a partir do mesmo lote) seja inferior a $f_{ck} - 3,5$ MPa. Existe um critério alternativo mais adequado para o betão de alta resistência. O critério de aceitação do betão de alta resistência, betão superior a 34,5 MPa, determina que nenhum resultado individual seja inferior a 90% de f_{ck} . A requerida resistência média deverá ser estabelecida de tal maneira que as não conformidades não sejam superiores a 1 % em ambos os casos.

c.1) Método desvio padrão, $f_{ck} \leq 34,5$ MPa

Por exemplo, assumindo que existem dados suficientes para dizer que o desvio padrão de uma mistura de betão é de 3,58 MPa, calculou-se a resistência requerida para esse betão, cuja resistência característica é de 30 MPa. Do Quadro 3.12, 1% da probabilidade de distribuição normal ser inferior à da resistência média traduz-se em 2,33 vezes o desvio padrão. Usando a equação 3.24, obtem-se:

$$f_{cm,alvo} = (f_{ck} - 3,5) + z\sigma_n = (30 - 3,5) + (2,33 \times 3,58) = 34,8 \text{ MPa}$$

Assim, para uma determinada resistência à compressão de 30 MPa, a mistura de betões deve ser caracterizada por uma resistência média, não inferior a 34,8 MPa, para que, em média, não mais de 1 % de resultados individuais de resistência fique abaixo de $f_{ck} - 3,5$ MPa.

c.2) Método desvio padrão, $f_{ck} > 34,5$ MPa

A título de exemplo, assumindo que existem dados suficientes para dizer que o desvio padrão de uma mistura de betão é de 5,61 MPa, calculou-se a resistência requerida para

esse betão, cuja resistência característica é de 60 MPa. Do Quadro 3.12, 1% da probabilidade de distribuição normal ficar abaixo da resistência média traduz-se em 2,33 vezes o desvio padrão. Usando a equação 3.24, obtém-se:

$$f_{cm,alvo} = 0,90 \cdot f_{ck} + z s_n = (0,90 \times 60) + (2,33 \times 5,61) = 67,1 \text{ MPa}$$

Assim, para uma determinada resistência à compressão de 60 MPa, a mistura de betões deve ser caracterizada por uma resistência média, não inferior a 67,1 MPa, para que, em média, não mais de 1 % de resultados individuais de resistência fique abaixo de $0,90 f_{ck}$.

c.3) Método do coeficiente de variação, $f_{ck} \leq 34,5 \text{ MPa}$

Por exemplo, assumindo que existem dados suficientes para dizer que o coeficiente de variação de uma mistura de betão é de 10,5 %, calculou-se a resistência requerida para esse betão, cuja resistência característica é de 30 MPa. Do Quadro 3.12, 1% da probabilidade de distribuição normal ficar abaixo da resistência média traduz-se em 2,33 vezes o desvio padrão. Usando a equação 3.23, obtém-se:

$$f_{cm,alvo} = (f_{ck} - 3,5) / (1 - zV) = (30 - 3,5) / [1 - (2,33 \times 10,5/100)] = 35,1 \text{ MPa}$$

Assim, para uma determinada resistência à compressão de 30 MPa, a mistura de betões deve ser caracterizada por uma resistência média não inferior a 35,1 MPa, para que, em média, não mais de 1 % de resultados individuais de resistência serem inferiores a $f_{ck} - 3,5 \text{ MPa}$.

c.4) Método do coeficiente de variação, $f_{ck} > 34,5 \text{ MPa}$

Como exemplo, assumindo que existem dados suficientes para dizer que o coeficiente de variação de uma mistura de betão é de 8,2 %, calculou-se a resistência requerida para esse betão, cuja resistência característica é de 60 MPa. Do Quadro 3.12, 1% da probabilidade de distribuição normal ficar abaixo da resistência média traduz-se em 2,33 vezes o desvio padrão. Usando a equação 3.24, obtém-se

$$f_{cm,alvo} = 0,90 \cdot f_{ck} / (1 - zV) = (0,90 \times 60) / [1 - (2,33 \times 8,2/100)] = 66,8 \text{ MPa}$$

Assim, para uma determinada resistência à compressão de 60 MPa, a mistura de betões deve ser caracterizada por uma resistência média, não inferior a 66,8 MPa, para que, em média, não mais de 1 % de resultados individuais de resistência serem inferiores a $0,90 f_{ck}$.

d) Critérios múltiplos

Em muitos casos são especificados vários critérios ao mesmo tempo. A ACI 318 e 318M [3] exigem que para betões de elevada resistência, conforme o ensaio individual para ambos os critérios, se utilize, dos três critérios de ensaio, aquele que é mais exigente. Quando ambos os critérios estão em vigor, a resistência à compressão necessária deve atender ou exceder todos os requisitos, isto é, deve ser a maior resistência calculada, utilizando todos os critérios indicados. Como exemplo, partimos do princípio que existem dados suficientes para supor que um coeficiente de variação de 8,2% foi calculado para uma mistura de betões com uma determinada resistência de 60 MPa. A requerida resistência média dos betões para esta mistura deve satisfazer simultaneamente os seguintes critérios:

1. Critério individual: $f_{cm,alvo} = 0,90 f_{ck} / (1 - 2,33 V) = 66,8 \text{ MPa}$.
2. Critério da média móvel: $f_{cm,alvo} = f_{ck} / (1 - 2,33 V / \sqrt{3}) = 67,4 \text{ MPa}$.

Este segundo critério é condicionante, porque $67,4 \text{ MPa} > 66,8 \text{ MPa}$ e $f_{cm,alvo}$ deverá ser a resistência maior, usando todos os critérios referenciados [4].

3.3.2.5 - Avaliação de resultados

A avaliação da resistência é necessária em muitas situações. Assim, são normalmente exigidos três pedidos: (a) avaliação da mistura de betão; (b) avaliação do nível de controlo (geralmente chamado controlo de qualidade); (c) avaliação para determinar a conformidade com as especificações.

Um importante objectivo destas avaliações é identificar os desvios desejados a partir de valores-alvo, sempre que possível, para ajudar à formulação de uma resposta adequada. Em todos os casos, a utilidade da avaliação será em função da quantidade dos dados estatísticos dos ensaios e do rigor da análise. Muitas das avaliações técnicas ou instrumentos utilizados numa aplicação não são adequados para o uso noutra. A seguir, serão também tratados os critérios para a rejeição de resultados duvidosos da resistência do betão, a determinação da frequência adequada para um ensaio e as orientações para avaliar os procedimentos. Na ausência de mais informações, a probabilidade de um único ensaio não atingir os critérios de resistência da ACI 318 [3] pode ser assumida como sendo 1,5% (Quadro 3.13).

Quadro 3.13 - Probabilidade de pelo menos 1 ensaio em n ensaios ser seleccionado e não atingir os critérios

n	1,5 % de probabilidade de um ensaio não atingir os critérios	10 % de probabilidade de um ensaio não atingir os critérios
1	1,5%	10,0%
5	7,3%	41,0%
7	10,0%	54,3%
10	14,0%	65,1%
20	26,1%	87,8%
50	53,0%	99,5%
100	77,9%	Aproximadamente 100%

Para um projecto específico, deve ser feito um número suficiente de ensaios, que garantam a representação precisa do betão. O resultado é definido como a média de, pelo menos, dois exemplares da mesma idade fabricados a partir de uma amostra retirada de um único volume de betão. A frequência dos testes de betão pode ser estabelecida com base no tempo decorrido ou volume colocado. O projectista deverá também definir o número de testes necessários baseado nas condições de trabalho. Um projecto onde todas as operações de betão são supervisionadas oferece um excelente controlo e estimativas precisas da média e desvio padrão, com um número mínimo de provetes. Quando as operações forem progredindo sem problemas, os testes de cada dia ou turno, dependendo do volume de betão produzido, podem ser suficientes para obter dados que reflitam as variações do betão entregue. O projectista pode reduzir o número de exemplares exigido pelas especificações

do projecto, bem como os níveis de controlo de produção estabelecidos para os produtores, laboratório e empreiteiro. É imprescindível que todas as colheitas de amostras para os ensaios sejam realizadas, utilizando selecções aleatórias de betão. Como rotina na construção, a ACI 318 [3] exige pelo menos um teste por dia, um ensaio a cada 115 m³, ou um teste por cada 460 m² de superfície de lajes e paredes. Permite, no entanto, renunciar aos ensaios para quantidades inferiores a 40 m³. Importa que os ensaios sejam realizados de modo a preencher cada um destes critérios. Estas frequências de ensaios, geralmente, resultam em ensaios a betões, numa de 10 a 20 auto-betoneiras. Se for utilizada uma frequência de ensaios superior a esta, tal poderá atrasar o processo de construção, devendo ser especificado apenas por razões imperativas. Por exemplo, são recomendados ensaios mais frequentes quando o desempenho estrutural é particularmente sensível à resistência à compressão. Uma frequência de ensaio para cada 80 m³ pode ser apropriada nestes casos. Um ensaio para cada 40 m³ seria adequado apenas para aplicações críticas. Realizar ensaios por cada carga de betão entregue, raramente é necessário. O número mínimo de ensaios a realizar por dia será de pelo menos um por cada classe diferente de betão colocada nesse período de tempo. Para um dado projecto devem ser realizados no mínimo cinco ensaios para cada classe de betão. As orientações para as rotinas de ensaio podem também ser encontradas na ACI 301 [63], ACI 318 [3], e ASTM C 94 [62].

A rejeição arbitrária dos resultados dos ensaios de resistência à compressão que parecem fora do normal não é recomendada porque a distribuição normal prevê a possibilidade de tais resultados. Esta indiscriminação de resultados dos ensaios pode perturbar seriamente a distribuição, tornando a análise dos resultados menos fiável. Se foram observadas variações durante o fabrico, a cura, ou o ensaio de um provete, o resultado individual deve ser rejeitado. Em geral, o resultado a partir de um único provete, num conjunto de três ou mais, pode ser eliminado se o seu desvio num ensaio é maior do que três vezes o previamente estabelecido no desvio padrão. No entanto, deve ser tomado como suspeito se o seu desvio for superior a duas vezes o desvio padrão. Um ensaio, isto é, a média de todos os exemplares de uma única amostra, testada na mesma idade não deve ser rejeitada, a menos que todos os provetes sejam defeituosos [4].

A resistência à compressão de um betão, normalmente, é baseada em resultados de ensaios, utilizando um provete cilíndrico padrão que foi amostrado, moldado e curado, em consonância com a norma ASTM C 31 [59], mantendo-o húmido a uma temperatura controlada (23 ± 2 °C), até que o provete seja ensaiado, normalmente aos 28 dias. Quando o valor nominal dos agregados grossos na mistura de betão for superior a 50 mm (2 polegadas), é utilizada uma amostra maior, ou o maior agregado é removido por peneiração húmida. A análise da variabilidade de resistência dos betões baseia-se nos provetes de tamanho normal. Provetes de betão feitos ou curados sob condições diferentes, fornecem informações adicionais, mas devem ser analisados e apresentados separadamente. As amostras que não tenham sido produzidas, curadas ou testadas em condições normais, podem não reflectir, com exactidão, a resistência do betão. É importante anotar nos relatórios de ensaio as discrepâncias de condições e desvios padrão. A resistência do betão em idades posteriores, tais como 56, 91 ou 182 dias, pode ser mais relevante do que os 28 dias de resistência, particularmente quando é utilizado um betão de presa lenta ou o calor de hidratação é uma preocupação. Alguns betões são desenvolvidos para que a sua resistência, aos 28 dias, seja menor do que 50% da sua resistência última. Esta correspondência deve ser estabelecida em ensaios laboratoriais antes da construção se iniciar. Muitas vezes, especialmente nas fases iniciais de uma obra, é necessário estimar a resistência do betão a ser produzido antes dos 28 dias de resistência. Os provetes de betão devem ser feitos e testados a partir do mesmo volume de betão aos 7 dias e, em alguns casos, aos 3 dias de idade. Estes primeiros testes fornecem apenas uma indicação de desempenho aceitável. Registe-se que um mínimo de dois cilindros é necessário para um ensaio válido. A cura das amostras de betão no local de construção, sob condições de emprego, é, por vezes, recomendada ou exigida, porque tem que ser alcançada uma resistência local, sobretudo em idade precoce, antes do elemento de betão poder ser carregado [4].

3.3.2.6 - Exemplo prático

Neste exemplo é estabelecida uma comparação sobre os dados dos ensaios com padrões de qualidade estabelecidos. Sempre que os resultados dos ensaios à compressão do betão são baixos, normalmente, culpam-se os técnicos que executam e tratam da cura dos provetes, e/ou, o próprio lote de provetes. Partimos do princípio que não foram alteradas as doses de

mistura dos componentes do betão, adicionando, por exemplo, mais água do que é permitido pela norma e a própria mistura foi feita de acordo com a mesma, em conformidade com os procedimentos aí descritos. Existem apenas dois tipos de motivos pelos quais se podem culpar os baixos resultados dos ensaios de resistência à compressão. Primeiro, o lote de provetes pode ter sido fabricado e curado pela pessoa errada, ou então, em segundo lugar, foram utilizados os materiais errados na mistura de betão. Se isso tiver ocorrido, o lote de provetes será provavelmente responsável pela baixa resistência à compressão dos provetes do betão. Então, novamente, o laboratório é responsabilizado pela colheita, manipulação e ensaios das amostras de betão. Se, no pessoal do laboratório, o técnico que realizou o trabalho o fez sem atenção à norma, respectivos ensaios e procedimentos, os ensaios de laboratório serão provavelmente responsáveis pelos baixos resultados. Este exemplo é baseado em procedimentos descritos na ACI 214R-02 [4].

Como é mostrado no Quadro 3.14, a resistência para efeitos deste exemplo é de 25 MPa. Em seguida, aos 28 dias, são recolhidos os resultados de resistência para os dois provetes cilíndricos que são parte de um programa típico de controlo da qualidade de betões. Para tal, são concebidos dois provetes para cada amostra. Além disso, são introduzidos os nomes, iniciais, ou números de identificação que designem os Técnicos que realizaram os ensaios no terreno. Neste exemplo fictício, dois Técnicos trabalharam no projecto: “Técnico A” e “Técnico B”.

No Quadro 3.15, realiza-se uma análise dos dados dos betões, como descrito na ACI 318-02 [3]. No exemplo dado, os problemas foram detectados nos resultados 14 e 15. Torna-se necessário a acção em duas fases distintas. Tal como exigido pela Norma, a média de resistência do betão, em futuras colocações, deve ser melhorada, correspondendo à média aritmética de quaisquer três ensaios consecutivos de resistência, pois cai abaixo das resistências especificadas e/ou qualquer resultado está abaixo da f_{ck} . A ACI 318R-02 [3] oferece sugestões que incluem o seguinte: aumento de cimento; mudanças nas proporções dos constituintes da mistura do betão; redução ou um melhor controlo da quebra de qualidade do betão; redução do prazo de entrega; e uma melhoria na qualidade do ensaio, incluindo a estrita conformidade com os procedimentos da norma de ensaio.

Como mostrado no Quadro 3.15, a resistência de betão determinada no ensaio 14 está abaixo do exigido $f_{ck} - 3,5$ (em MPa), o que são 21,5 MPa. A mistura de betão representada por esta amostra deve ser investigada adicionalmente.

Quadro 3.14 - Resultados dos ensaios de resistência à compressão

Ensaio n.º	Cilindro 1 C1 (MPa)	Cilindro 2 C2 (MPa)	Técnico
1	33,3	33,0	A
2	31,7	33,6	A
3	32,3	32,6	A
4	32,1	33,1	A
5	32,1	31,2	A
6	31,5	32,3	A
7	32,3	32,1	A
8	32,9	32,4	A
9	33,0	32,8	A
10	33,7	31,2	A
11	29,8	26,7	B
12	25,2	25,0	B
13	25,0	25,4	B
14	25,2	21,4	B
15	25,7	26,3	B
16	32,9	29,3	B
17	32,3	27,2	B
18	24,3	27,9	B
19	29,5	33,0	B
20	27,9	32,7	B

A resistência à compressão pretendida é de 25 MPa.

A ACI 318-02 [3] sugere o uso de ensaios não destrutivos no local, o que pode ser útil para determinar ou não se uma parte da estrutura realmente contém betão com baixa resistência. Em casos extremos, uma investigação mais aprofundada pode também incluir ensaios de resistência com carotes. Quando as carotes ensaiadas falharem, torna-se indispensável exigir um teste de carga. São necessários alguns cuidados na decisão sobre os ensaios requeridos. A carotagem e mesmo alguns ensaios não destrutivos podem causar lesões na

estrutura de betão em questão, ou alterar a sua estética. Esses ensaios devem ser cuidadosamente planeados com o acordo de todas as partes envolvidas.

Quadro 3.15 - Análise dos dados dos betões

Ensaio n.º	Cilindro 1 C1 (MPa)	Cilindro 2 C2 (MPa)	Amplitude R (MPa)	Média	Aritmética (MA3)	Comentário
1	33,3	33,0	0,3	33,2	-	-
2	31,7	33,6	1,9	32,7	-	-
3	32,3	32,6	0,3	32,5	32,8	Sem problema
4	32,1	33,1	1,0	32,6	32,6	Sem problema
5	32,1	31,2	0,9	31,7	32,2	Sem problema
6	31,5	32,3	0,8	31,9	32,1	Sem problema
7	32,3	32,1	0,2	32,2	32,0	Sem problema
8	32,9	32,4	0,5	32,7	32,3	Sem problema
9	33,0	32,8	0,2	32,9	32,6	Sem problema
10	33,7	31,2	2,5	32,5	32,7	Sem problema
11	29,8	26,7	3,1	28,2	31,2	Sem problema
12	25,2	25,0	0,2	25,1	28,6	Sem problema
13	25,0	25,4	0,4	25,2	26,2	Sem problema
14	25,2	21,4	3,8	23,3	24,5	O betão colocado nesta área tem que ser investigado e a qualidade do futuro betão colocado tem que ser melhorado
15	25,7	26,3	0,6	26,0	24,8	A qualidade do futuro betão colocado tem que ser melhorada
16	32,9	29,3	3,6	31,1	26,8	Sem problema
17	32,3	27,2	5,1	29,7	28,9	Sem problema
18	24,3	27,9	3,6	26,1	29,0	Sem problema
19	29,5	33,0	3,5	31,3	29,0	Sem problema
20	27,9	32,7	4,8	30,3	29,2	Sem problema

A resistência à compressão pretendida é de 25 MPa.

A ACI 214R-02 [4] fornece um procedimento para analisar os resultados dos ensaios num projecto. Assim, para este exemplo de projecto, é apresentada uma média de resistência dos betões de 25 MPa, com um desvio padrão de 2,3 MPa.

Comparando esse valor com a ACI 214R-02 [4], a variação global é classificada como "razoável". Embora esta indique que o lote de provetes tenha sido bastante coerente, não significa necessariamente que a mistura seja adequada. O coeficiente de variação do teste, ou a variação dentro do ensaio, é 7,80 %. O ensaio é classificado como "mau". Isto indica que existe um problema nos testes laboratoriais que deve ser resolvido. Pode, assim, concluir-se que, pelo menos, parte do motivo dos baixos resultados da resistência deriva de procedimentos de ensaio inadequados.

Passando então a avaliar o desempenho dos Técnicos, neste exemplo, a avaliação do "Técnico A" mostra que o seu trabalho teve um coeficiente de variação de 2,3 %, o que equivale a dizer que houve um *excelente* controlo dos ensaios, por parte deste técnico. O utilizador pode, portanto, concluir que o desempenho deste técnico não é a fonte de qualquer dos problemas do ensaio. Mas o mesmo não se verifica quando o "Técnico B" testou o betão. Para analisar o seu trabalho, o coeficiente de variação passou a ser 10,5 %. O seu controlo é classificado como *mau*. Pode ainda concluir-se que o problema com o laboratório é provavelmente resultado do trabalho do "Técnico B" e que ele requer uma formação complementar. Quanto ao "Técnico A" trata-se de um técnico formado neste sector, enquanto que o "Técnico B" não possui habilitações para tal. Isto significa que o "Técnico B" deverá então ser treinado e formado antes de ser autorizado a voltar ao projecto.

Resultados:

Resistência média = 30,7 MPa

Desvio padrão da média = 2,4 MPa

Usando o desvio padrão no Quadro 3.7, indica-nos que a *construção é Razoável*.

O coeficiente de variação para os ensaios é 7,80 %.

Utilizando o Quadro 3.7, indica-nos que os *ensaios são Maus*.

Classificação dos Técnicos:

Designação do Técnico: A

Resistência média = 32,5 MPa

Desvio padrão = 0,9 MPa

Desvio padrão causado pelo Técnico = 0,8 MPa

Tamanho da amostra = 10 resultados

Coefficiente de variação = 2,5 %

Utilizando o Quadro 3.7, indica-nos que os *ensaios do “Técnico A”* são *Muito Bons*.

Designação do Técnico: B

Resistência média = 28,9 MPa

Desvio padrão = 3,4 MPa

Desvio padrão causado pelo Técnico = 3,1 MPa

Tamanho da amostra = 10 resultados

Coefficiente de variação = 10,7 %

Utilizando o Quadro 3.7, indica-nos que os *ensaios do “Técnico B”* são *Maus*.

3.3.3 - CUSUM

A técnica CUSUM é utilizada quer no controlo de qualidade, quer na detecção dos problemas, alertando para a necessidade de identificar as causas da variabilidade da resistência. A detecção precoce de mudanças no nível da resistência é útil, a fim de que as causas possam ser identificadas e as respectivas medidas correctivas possam ser tomadas atempadamente, para evitar problemas futuros, ou reduzir os custos. Isso exige que a metodologia seja capaz de distinguir entre as variações aleatórias e as variações devido a causas atribuíveis. O somatório acumulado (CUSUM) fornece um método gráfico relativamente simples, mas capaz de detectar mudanças reais na resistência média dos betões, ou algum outro aspecto do desempenho do betão.

O CUSUM geralmente irá proporcionar uma maior sensibilidade e maior rapidez na detecção de pequenas alterações na resistência. Existem limitações na utilização de um gráfico CUSUM, particularmente quando os dados são altamente variáveis. Mas, a técnica só é um pouco mais complicada do que análises convencionais da resistência e é facilmente executada manualmente, ou utilizando um programa de computador disponível comercialmente. Como acontece com qualquer técnica, as conclusões a que se chegou utilizando um gráfico CUSUM devem ser confirmadas por análises adicionais, ou investigações, antes da tomada de decisões críticas. Embora seja mais comum utilizar esta técnica para monitorizar resistências à compressão, também já se concluiu, com sucesso, o uso dos gráficos CUSUM para controlar outras propriedades do betão.

No método CUSUM, existem três tipos de análises: a CUSUM M, que representa a diferença entre a resistência estimada e a resistência média alvo; a CUSUM R, que é a diferença entre as resistências estimadas e a amplitude média alvo; e a CUSUM C, que nos dá a diferença entre a resistência real obtida e a resistência estimada.

3.3.3.1 - Exemplo da técnica CUSUM

Como exemplo, admita-se que os dados dos betões para uma certa mistura, produzidos para betões de resistência de 30 MPa, indicam uma resistência média de 35,8 MPa. Durante um projecto, são tornados disponíveis os valores das resistências à compressão sequencialmente. O gráfico CUSUM pode ser construído a partir dos dados, como mostra o Quadro 3.16.

A média de três ensaios (MA3) também é fornecida, porque é uma componente de controlo da qualidade variável. Utilizando apenas estes 19 resultados dos ensaios, a média da resistência à compressão é de 34,8 MPa e o desvio padrão da amostra é de 2,41 MPa. Com base nestes 19 resultados de resistência dos ensaios, a resistência necessária é de 33,5 MPa ($f_{ck} = 30$ MPa, somando $(1,34 \times 2,64)$ ou $(2,33 \times 2,64 - 3,5)$, onde 2,64 é o desvio padrão).

Quadro 3.16 - Dados para o exemplo CUSUM

n.º	Resultado do ensaio, MPa	Diferença, MPa	CUSUM, MPa	MA3, MPa
1	$(37,1 + 36,9)/2 = 37,0$ (média de dois cilindros)	$37,0 - 35,8 = 1,2$	1,2	-
2	34,7	$34,7 - 35,8 = -1,1$	$1,2 + (-1,1) = 0,1$	-
3	32,8	$32,8 - 35,8 = -3,0$	$0,1 + (-3,0) = -2,9$	34,8
4	37,8	$37,8 - 35,8 = 2,0$	$-2,9 + 2,0 = -0,9$	35,1
5	35,2	-0,6	-1,5	35,3
6	36,5	0,7	-0,8	36,5
7	39,6	3,8	3,0	37,1
8	37,6	1,8	4,8	37,9
9	33,6	-2,2	2,6	36,9
10	33,6	-2,2	0,4	34,9
11	35,1	-0,7	-0,3	34,1
12	31,8	-4,0	-4,3	33,5
13	36,4	0,6	-3,7	34,4
14	32,5	-3,3	-7,0	33,6
15	31,0	-4,8	-11,8	33,3
16	31,7	-4,1	-15,9	31,7
17	37,0	1,2	-14,7	33,2
18	34,5	-1,3	-16,0	34,4
19	32,9	-2,9	-18,9	34,8

Pode dizer-se que:

1. O baixo desvio padrão indica aparentemente um excelente controlo;
2. A resistência média é maior que f_{ck} e $f_{cm,alvo}$ mas 1,0 MPa menor que a resistência média determinada nos anteriores dados;
3. Não existem casos em que um ensaio é inferior a $f_{ck} - 3,5$ MPa; e
4. Não existem casos onde a resistência média de 3 resultados é inferior a f_{ck} .

Todos estes indicadores apontam para um desempenho satisfatório e um aparente controlo do processo. Os gráficos de controlo simples (Figuras 3.2 e 3.3) não indicam quaisquer problemas significativos, embora a resistência média tenha uma tendência ligeiramente inferior, durante um período de tempo. O gráfico CUSUM, no entanto, (Figura 3.4) indica

claramente que ocorreu uma mudança. A diminuição do nível médio da resistência, aparentemente não aparece até ao 10º resultado de resistência à compressão. Uma simples estimativa da diminuição da resistência pode ser feita a partir do declive do gráfico CUSUM. O declive do ensaio nº10 ao nº 19 pode ser estimado como -18,9 (a soma das diferenças entre o ensaio nº10 até ao nº19) dividido por 9 (19-10 ensaios), que dá cerca de 2,1 MPa.

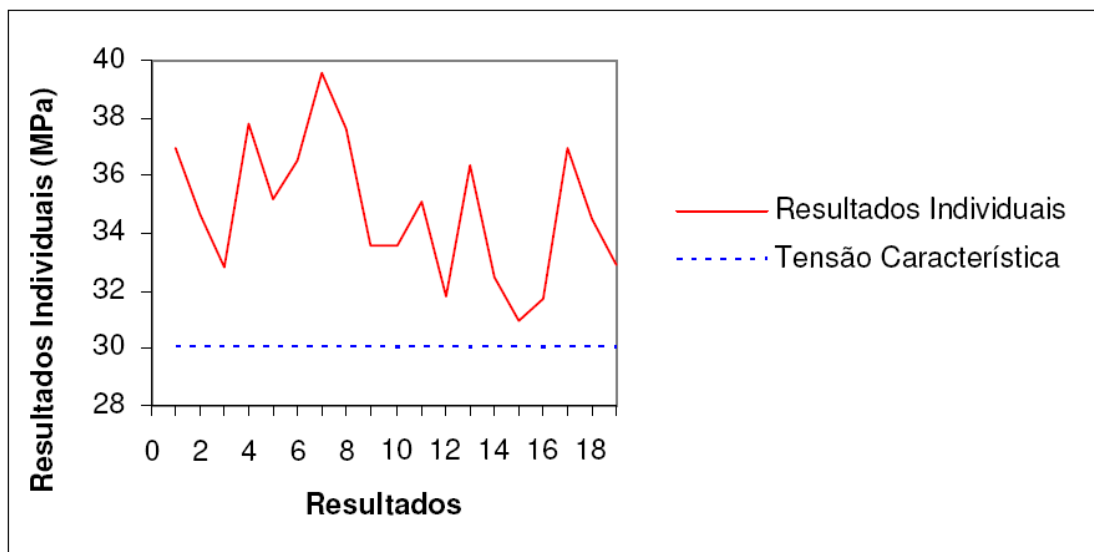


Figura 3.2 - Resultados individuais

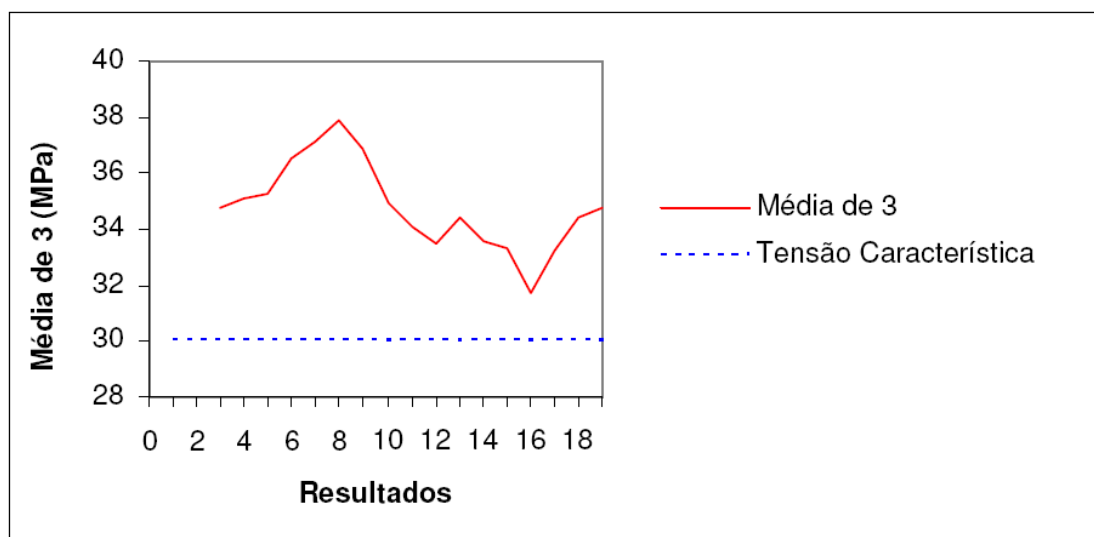


Figura 3.3 - Média de três resultados

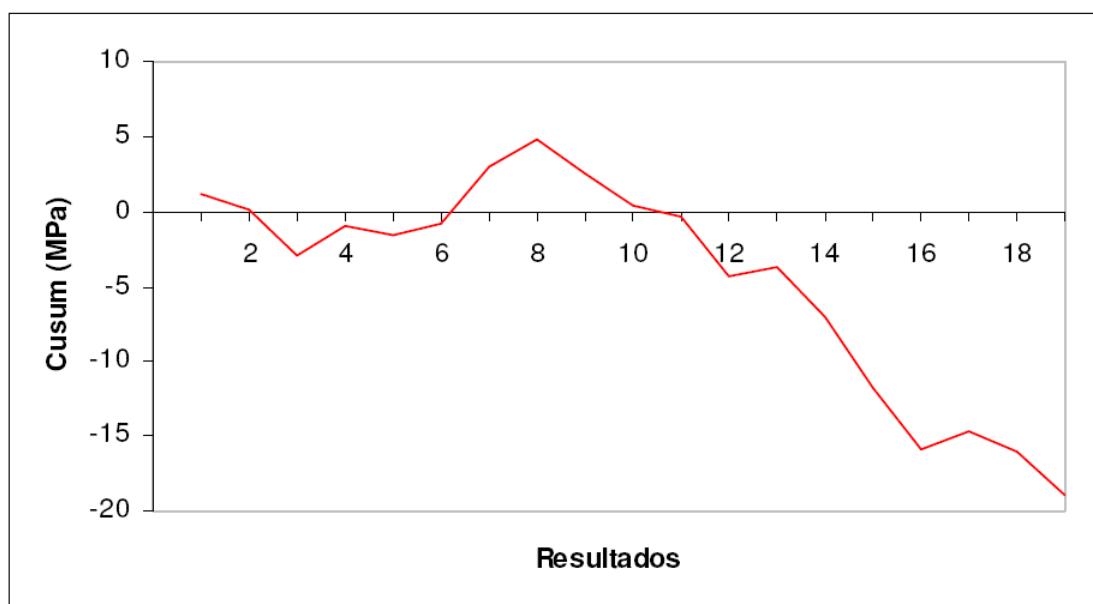


Figura 3.4 - Gráfico CUSUM para resistência à compressão

O exemplo anterior demonstra o potencial do método gráfico CUSUM. Não é óbvia a indicação de uma alteração nos resultados da Figura 3.2, em consequência da variação aleatória, não sendo, portanto, fácil detectar tendências ou pequenas alterações. A detecção de tendências ou mudanças nas variáveis pode ser fornecida pela resistência média, que melhora a tendência de detecção, reduzindo o efeito da variação aleatória. Aumentar o número de dados, aumenta a facilidade com que a tendência é detectada e melhora a fiabilidade da identificação das tendências, ou seja, a probabilidade de que a tendência aponta para uma verdadeira mudança. A melhoria vem com o contra de ter que aguardar mais resultados. A média durante apenas 3 ensaios não é um forte indicador. A média móvel de 3 resultados (Figura 3.3) não mostra uma tendência em baixa dos dados de um período de tempo. No entanto, não é imediatamente visível, a partir da Figura 3.3, que uma mudança significativa ocorreu e, se tiver ocorrido, qual a dimensão da mudança e a tendência.

Dados estatísticos adicionais de avaliação poderão ser iniciados, mas não é claro que qualquer acção correctiva seja necessária e, na prática, provavelmente ninguém as realizaria com base nesta análise única. As principais vantagens do gráfico CUSUM são o facto de

pequenas alterações poderem ser detectadas mais cedo do que com os outros métodos descritos, bem como o tempo e a dimensão destas alterações poderem ser estimados directamente. No entanto, é de salientar que, como acontece com qualquer ferramenta analítica, o método CUSUM tem algumas limitações.

Trata-se de uma técnica perfeita para identificar mudanças na resistência média que irá identificar todas as mudanças reais, sem classificar uma variação aleatória como uma mudança. As formas de equilibrar os dois tipos de erros são: Tipo I - rejeitar uma verdadeira mudança; e Tipo II - falsa aceitação de um lote. A probabilidade de um erro aumenta quando a análise se baseia num baixo número de dados. Ambos os tipos de erros têm custos associados. Uma inesperada diminuição na resistência exigirá uma acção correctiva imediata para aumentar a média da resistência e um inquérito para determinar as causas. Existe um custo associado à gestão nesta investigação e pode haver um custo associado com o aumento temporário do custo do betão para proporcionar o aumento da resistência do betão. Estes custos podem ser compensados pela redução do risco associado a um aumento do trabalho para investigar as verdadeiras razões da diminuição da resistência. Se nenhum problema for detectado numa posterior análise, isto indica que a análise original era incorrecta e as perdas são reais. Mas podem ser pequenas, em comparação com a redução do potencial de custos. Uma reacção excessiva também pode causar problemas. A interferência com o processo construtivo, na ausência de uma causa, pode levar a várias dificuldades. Por sua vez, o excesso de correcções também deve ser evitado devido aos custos adicionais de mudanças desnecessárias, pois irão induzir maior variação do que teria ocorrido na ausência da intervenção.

A intervenção deve acontecer tão cedo quanto possível. A análise do gráfico CUSUM pode basear-se numa estimativa aproximada da altura em que ocorreu a mudança. Numa rápida acção, os 9 ou 10 resultados dos ensaios podem facilmente acumular-se num período curto de tempo e o início da intervenção pode ser impraticável. No exemplo utilizado, a mudança é facilmente perceptível dado o baixo desvio padrão e à grande mudança da resistência (cerca de 2,1 MPa). As menores mudanças na resistência média levam mais tempo a identificar. De facto, a identificação, nessas situações, não é tão fácil, como nas grandes

mudanças que resultam em inclinações e que são mais fáceis de verificar. Quando ocorrem pequenas mudanças na resistência média, a identificação, em tempo útil, pode ser difícil. Tanto qualitativa como estatisticamente, as orientações da variabilidade dependem do nível de segurança na análise.

Em termos de ordem prática, os custos de alterações, derivados do efeito das mudanças, devem ser considerados. Para determinar a causa ou causas de uma mudança, o momento em que esta ocorreu deve ser avaliado com precisão. No exemplo dado, não é claro, a partir da Figura 3.4, se a mudança ocorreu no 10º ensaio, no 8º ensaio, ou nalgum outro ensaio. Uma mudança real no betão pode, frequentemente, ser identificada apenas com alguns pontos sobre o gráfico CUSUM. Na Figura 3.5, são mostrados apenas os dados dos 12 primeiros ensaios. Ali parece existir uma tendência ascendente nos dados do ensaio nº3 ao ensaio nº8 e uma tendência descendente a partir do ensaio nº8. No entanto, estas tendências não são estatisticamente significativas. A escala do gráfico deve ser estabelecida de forma adequada [4].

Há várias situações que podem provocar dificuldades na análise CUSUM. Alguns dos problemas mais comuns decorrentes de interpretação estão a seguir enumerados:

1. O gráfico CUSUM é sensível ao valor da resistência média utilizado no cálculo da soma. Na Figura 3.6, o gráfico CUSUM é mostrado com três diferentes estimativas iniciais de resistência à compressão. Uma curva representa 35,8 MPa, como a primeira estimativa da resistência média (excepto na escala, esta é a mesma da Figura 3.5). As outras duas curvas representam os efeitos de erros de $\pm 2,0$ MPa na estimativa.

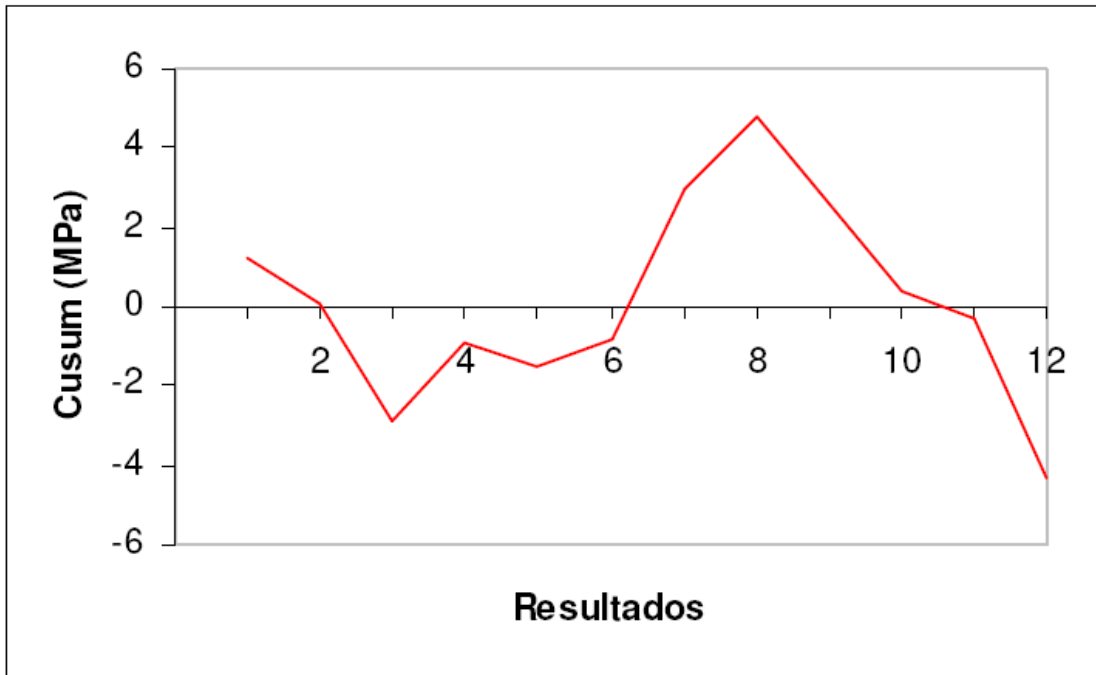


Figura 3.5 - Gráfico CUSUM para resultados parciais

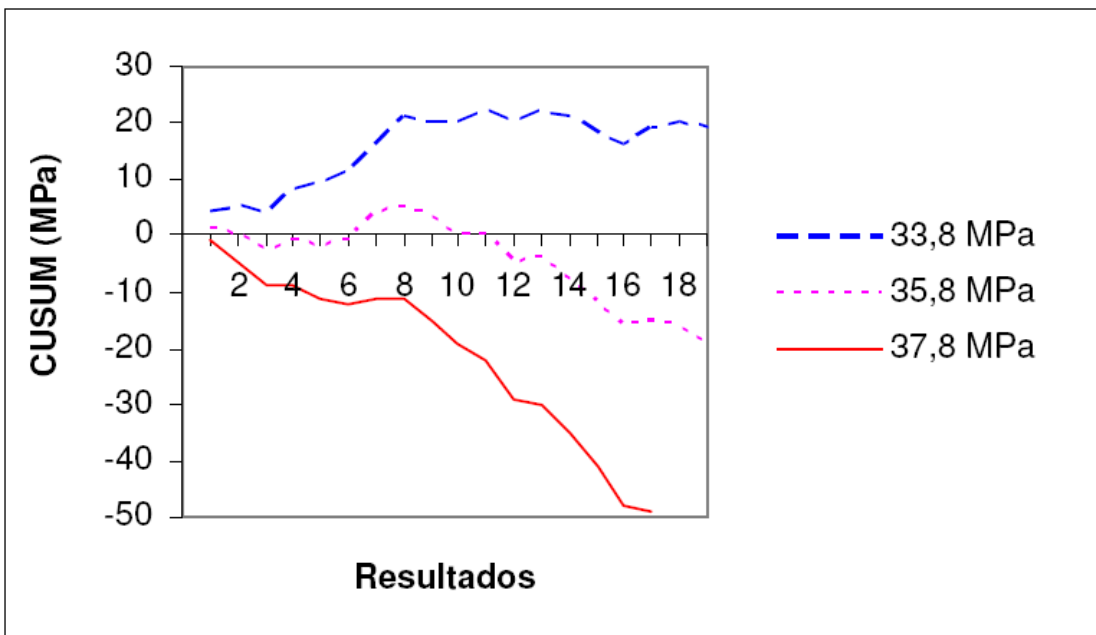


Figura 3.6 - Gráfico CUSUM para resistência à compressão com três diferentes resultados para as médias de resistência

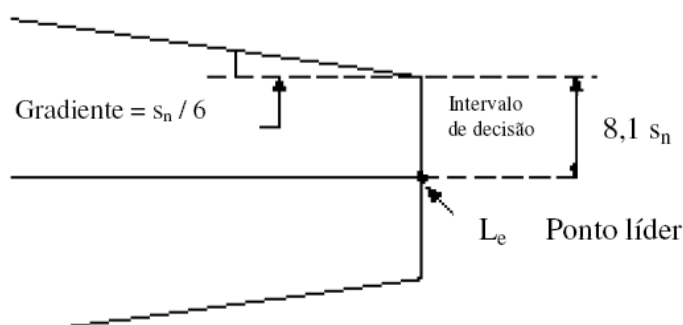
2. Uma única aberração nos dados pode criar o que parece ser uma tendência de desvio. Se uma tendência ocorre com um único resultado, muitas vezes ele pode ser ignorado na análise.
3. Uma única mistura de betão irá normalmente ter uma resistência média ligeiramente diferente para cada projecto. Diferentes contratantes podem exercer diferentes níveis de controlo e utilizar diferentes laboratórios, o que, invariavelmente, irá fornecer dados dos ensaios com médias ligeiramente diferentes que irão traduzir-se numa variação aleatória. Quando uma tendência estatística significativa for encontrada, o desvio padrão deve ser calculado com base em vários conjuntos de dados, em vez de um conjunto. Isto proporcionará uma forma mais precisa e uma verdadeira estimativa do desvio padrão.
4. Uma estimativa do ponto em que a mudança na média ocorreu, pode ser obtida da análise de regressão do gráfico CUSUM. A precisão obtida, em tal análise, raramente é de valor prático [4].

3.3.3.2 - Avaliação das tendências

Se um segmento de um gráfico CUSUM é horizontal, a propriedade a ser continuada, durante esse período, é a mesma que o valor alvo. A inclinação indica que a propriedade é diferente do seu valor alvo.

Assim, foi concebido um método de forma a avaliar se as tendências observadas são significativas e o suficiente para exigir uma acção correctiva. Depois de cada ponto ter sido transposto para o gráfico, é colocada uma máscara (ver Figura 3.7), com o "ponto líder" a ser o último resultado do traçado do CUSUM.

Máscara para CUSUM M e C



Máscara para CUSUM R

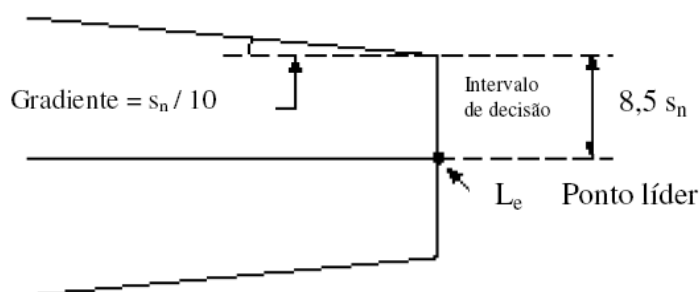


Figura 3.7 - Máscara de concepção para betão CUSUM

Se se mantiver dentro dos limites da máscara, nenhuma mudança significativa ocorreu. No entanto, se a máscara for ultrapassada, considera-se existir uma tendência significativa e torna-se necessário implementar uma ação. Esta máscara é aplicada cada vez que um novo resultado é adicionado, sendo feita uma nova verificação.

3.3.3.3 - Desenho de máscaras

A geometria da máscara está ligada às probabilidades estatísticas. É de salientar que as alterações significativas devem ser detectadas o mais rapidamente possível, mas o sistema não deve ser sobre-sensível, para que não responda às mudanças insignificantes. Neste caso, as máscaras podem ser concebidas usando técnicas de simulação computacional. Não há uma solução absoluta. Trata-se de um compromisso entre o nível de confiança e a necessária detecção rápida.

As máscaras de um sistema são mostradas na Figura 3.7 que mostra que a geometria da máscara é dependente do desvio padrão alvo, que, por sua vez, exige a preparação de cada uma das máscaras, através de cada valor do desvio padrão. Alternativamente, estas máscaras individuais podem ser sobrepostas, para formar uma máscara múltipla.

Máscaras semelhantes podem ser produzidas para o CUSUM R e CUSUM C. Recomenda-se que as máscaras sejam feitas de modo a incluir 60 resultados sobre o eixo horizontal. Se isso for feito, então, quando tiver ocorrido uma alteração significativa, a parcela CUSUM irá cruzar os membros da máscara. Se a parcela atravessa a extensão de um membro, por via disso, é requerida e indicada uma mudança insignificante do conteúdo de cimento. O desvio padrão utilizado para a produção de máscaras para a detecção de mudanças na correlação é muito menor do que o desvio padrão usado em máscaras do CUSUM M e R. Normalmente, é adoptado um desvio padrão de 2,5 MPa. No entanto, se existirem invulgares boas condições, pode ser utilizada uma máscara mais sensível, com base em 2 MPa. Excepcionalmente, em condições em que existam diferentes proveniências de cimento para o mesmo betão, poderia ser adoptado um valor de 3,25 MPa. No entanto, é preciso ter cuidado, nesta última situação, para garantir que, caso exista um valor muito diferente dos obtidos, não seja o resultado de maus ensaios.

3.3.4 - Tipo de cálculos efectuados para o método CUSUM

Os cálculos para o método CUSUM são melhor efectuados na forma de um quadro (Quadro 3.17). No início, cada resultado é recebido e entra no quadro com a sua identificação e dados de referência.

Quadro 3.17 - Cálculos típicos do método CUSUM

Desvio padrão 6 MPa ($\bar{R} = 7$ MPa) Resistência média alvo 42 MPa											
Refer. do cubo	Data	Result. Antecipado MPa	Resist. prevista aos 28 dias MPa	(4) - resist. média alvo MPa	CUSUM M Soma acumulada do 5 (para o gráfico de controlo da resistência média) MPa	Conj. de pares de valores de 4 MPa	(7) - \bar{R} MPa	CUSUM R Soma acumulada de 8 (para o gráfico de controlo do desvio padrão) MPa	Resist. real aos 28 dias MPa	Difer. relacionada: (10) - (4) MPa	CUSUM C Soma acumulada de (11) (para o gráfico de controlo da análise de regressão) MPa
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)	(12)
1	5/2	43,0	54,0	+12,0	+12,0				53,0	-1,0	-1,0
2	8/2	28,5	38,0	-4,0	+8,0	16,0	+9,0	+9,0	35,0	-3,0	-4,0
3	9/2	32,0	42,0	0	+8,0	4,0	-3,0	+6,0	41,0	-1,0	-5,0
4	9/2	29,0	38,5	-3,5	+4,5	3,5	-3,5	+2,5	38,5	0	-5,0
5	10/2	33,5	43,5	+1,5	+6,0	5,0	-2,0	+0,5	43,5	0	-5,0
6	11/2	31,0	41,0	-1,0	+5,0	2,5	-4,5	-4,0	39,0	-2,0	-7,0
7	12/2	33,0	43,0	+1,0	+6,0	2,0	-5,0	-9,0	47,5	+4,5	-2,5
8	15/2	25,0	34,0	-8,0	-2,0	9,0	+2,0	-7,0	37,5	+3,5	+1,0
9	16/2	42,0	53,0	+11,0	+9,0	19,0	+12,0	+5,0	53,5	+0,5	+1,5
10	17/2	24,5	33,5	-8,5	+0,5	19,5	+12,5	+17,5	32,5	-1,0	+0,5
11	17/2	25,0	34,0	-8,0	-7,5	0,5	-6,5	+11,0	30,0	-4,0	-3,5
12	19/2	33,5	43,5	+1,5	-6,0	9,5	+2,5	+13,5	43,5	0	-3,5
13	22/2	32,0	42,0	0	-6,0	1,5	-5,5	+8,0	40,5	-1,5	-5,0
14	23/2	24,5	33,5	-8,5	-14,5	8,5	+1,5	+9,5	34,0	+0,5	-4,5
15	24/2	28,5	38,0	-4,0	-18,5	4,5	-2,5	+7,0	35,5	-2,5	-7,0
16	25/2	33,0	43,0	+1,0	-17,5	5,0	-2,0	+5,0	41,5	-1,5	-8,5
17	26/2	30,0	39,5	-2,5	-20,0	3,5	-3,5	+1,5	38,5	-1,0	-9,5
18	1/3	34,0	44,0	+2,0	-18,0	4,5	-2,5	-1,0	46,5	+2,5	-7,0
19	2/3	31,0	40,5	-1,5	-19,5	3,5	-3,5	-4,5			
20	2/3	32,0	42,0	0	-19,5	1,5	-5,5	-10,0			
21	3/3	27,5	37,0	-5,0	-24,5	5,0	-2,0	-12,0			
22	4/3	24,5	33,5	-8,5	-33,0	3,5	-3,5	-15,5			
23	5/3	32,0	42,0	0	-33,0	8,5	+1,5	-14,0			
24	8/3	24,0	32,5	-9,5	-42,5	9,5	+2,5	-11,5			
25	9/3	26,5	35,5	-6,5	-49,0	3,0	-4,0	-15,5			
26	10/3	24,0	32,5	-9,5	-58,5	3,0	-4,0	-19,5			
(35,0)											
Aumento de cimento em 15 kg/m ³ para restaurar a resistência média ao seu alvo											
27	12/3	24,5	33,5	-8,5	-8,5	1,5	-5,5	-25,0			
28	12/3	38,5	49,0	+7,0	-1,5	15,5	+8,5	-16,5			
29	13/3	37,5	48,0	+6,0	+4,5	1,0	-6,0	-22,5			
30	13/3	30,0	39,5	-2,5	+2,0	8,5	+1,5	-21,0			
31	15/3	26,0	35,0	-7,0	-5,0	4,5	-2,5	-23,5			
32	17/3	39,5	50,0	+8,0	+3,0	15,0	+8,0	-15,5			
33	18/3	39,0	49,5	+7,5	+10,5	0,5	-6,5	-22,0			
34	19/3	38,0	48,5	+6,5	+17,0	1,0	-6,0	-28,0			
35	19/3	32,0	42,0	0	+17,0	6,5	-0,5	-28,5			
36	22/3	27,5	36,5	-5,5	+11,5	5,5	-1,5	-30,0			
37	23/3	32,0	42,0	0	+11,5	5,5	-1,5	-31,5			
38	24/3	32,0	42,0	0	+11,5	0	-7,0	-38,5			
39	24/3	33,0	43,0	1,0	+12,5	1,0	-6,0	-44,5			
40	25/3	33,5	43,5	+1,5	+14,0	0,5	-6,5	-51,0			
41	26/3	37,5	48,0(45)	+6,0	+20,0	4,5	-2,5	-53,5			
Redução de cimento em 20 kg/m ³											
42	29/3	31,5	41,0	+2,0	+22,0	4,0	-1,0	-1,0			
Classificação dos resultados											
Coluna 1 a 4 Referência do cubo; data; antecipada e previsível resistência do cubo aos 28 dias											
Coluna 5 a 6 Cálculo CUSUM para a resistência média											
Coluna 7 a 9 Cálculo CUSUM para média alvo aliada ao desvio padrão											
Coluna 10 a 12 Resistência dos cubos real aos 28 dias e o CUSUM da diferença correlacionada											
Nota dos dados calculados: É necessária prudência quando se efectuam os cálculos logo a seguir a uma mudança na quantidade de cimento. Desde que o que é importante é a variabilidade da produção geral, o resultado imediatamente antes da mudança deve ser ajustado a um valor apropriado à nova proporção de cimento antes de calcular os novos dados. Ver resultados 26 e 41.											

Considere-se o cubo de referência 5, do Quadro 3.17, relativo ao betão misturado em 10 de Fevereiro. Determina-se o resultado previsto aos 28 dias, a partir do sistema de análise de regressão e insere-se na coluna 4. Deduz-se a resistência média alvo e entra-se com a diferença na coluna 5 ($43,5 - 42,0 = + 1,5$). Adiciona-se esta diferença em relação ao anterior CUSUM M na coluna 6 ($4,5 + 1,5 = 6,0$) e introduz-se o novo CUSUM M na coluna 6. Calcula-se o intervalo entre a resistência prevista (ou estimada) aos 28 dias dos cubos 5 e 4 ($43,5 - 38,5 = 5,0$) e insere-se na coluna 7. Deduz-se a resistência média alvo ($5,0 - 7,0 = - 2,0$) e insere-se a diferença na coluna 8. Adiciona-se esta ao anterior CUSUM R ($2,5 + (- 2,0) = + 0,5$) e introduz-se o novo CUSUM R na coluna 9. Entra-se com o valor real aos 28 dias na coluna 10, assim que eles estiverem disponíveis. Deduz-se o previsto aos 28 dias de resistência ($43,5 - 43,5 = 0$) e entra-se com a diferença na coluna 11. Adiciona-se este ao anterior CUSUM C ($- 5,0 + 0 = - 5,0$) e introduz-se o novo CUSUM C na coluna 12.

3.3.4.1 - Execução de gráficos CUSUM

Uma das vantagens do sistema CUSUM, é que as tendências de desvios da meta e/ou alterações no desempenho podem ser facilmente identificadas, a partir de uma apresentação gráfica. A apresentação pode ser melhorada ou diminuída, através da adopção de diferentes escalas gráficas. Por exemplo, o declive vai aumentar se a escala vertical para o eixo CUSUM é aumentada, ou a escala horizontal para o número de resultados é reduzida. A selecção de escalas correctas é assim muito importante para assegurar a adequada apresentação. Assim, dependendo do desvio padrão esperado e da utilização do gráfico, 5 mm (ou 10 mm) podem representar 5 ou 10 MPa, em relação à escala vertical CUSUM.

Os dados CUSUM são colocados separadamente no eixo vertical contra o número do resultado no eixo horizontal. Os dados CUSUM para a média, amplitude e análise de regressão de colunas 6, 9 e 12 do Quadro 3.17, são mostrados nos gráficos CUSUM na Figura 3.8.

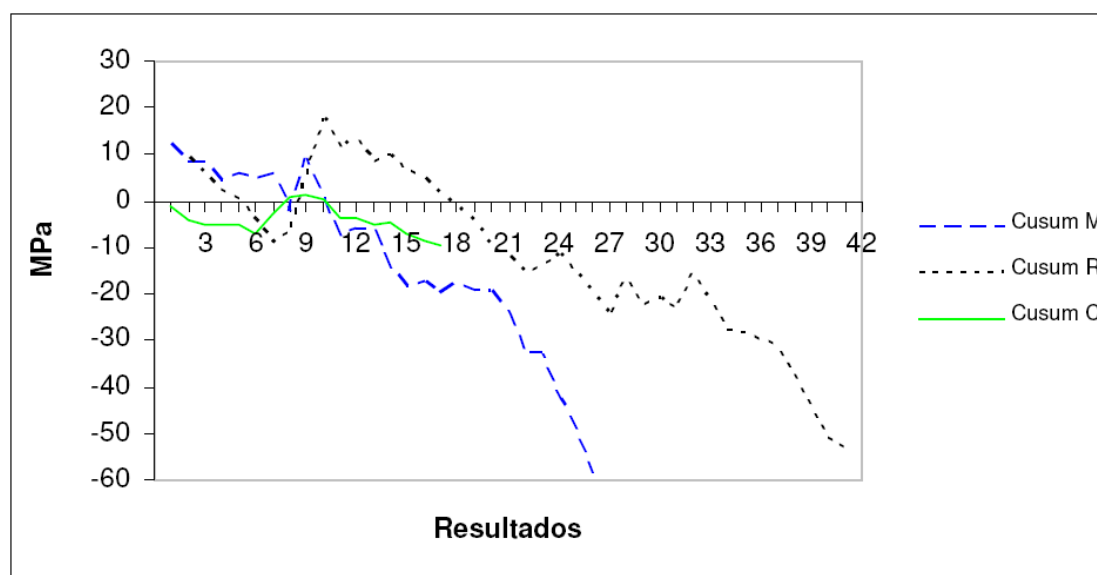


Figura 3.8 - Gráficos CUSUM para desvio padrão, resistência média e análise de regressão

3.3.4.2 - Uso de máscaras

Considere-se o gráfico de CUSUM M quando a máscara é colocada no gráfico. Nenhuma alteração é indicada para os primeiros 25 resultados, ou seja, os resultados não atravessam membros da máscara. Após o resultado 26, é indicada uma mudança. Observando o declive da curva, é evidente que uma mudança ocorreu perto, ou no resultado 10. O sistema indica que ocorreu uma mudança significativa na resistência média e que deverá ser tomada uma acção para corrigir a diferença observada entre a resistência média alvo e a resistência prevista aos 28 dias.

De modo semelhante, mas usando a máscara apropriada para o CUSUM R, é indicada uma mudança significativa no desvio padrão no resultado 41, originários de perto do resultado 10. Como é encontrado um número significativamente menor, o produtor poderia usar este resultado para recalcular a sua resistência média alvo e assim poupar cimento. O CUSUM R é examinado em primeiro lugar, isto é, antes do CUSUM M ou do CUSUM C. O sistema de previsão de resistência aos 28 dias é verificado, quando a máscara é usada, da mesma forma, sobre o gráfico CUSUM C. De recordar que numa máscara para uma classe de 25 MPa, é normalmente usado no CUSUM C um desvio padrão de 2 a 3 MPa de distância.

Quando existem mudanças significativas na resistência média, indicadas através do desvio padrão, é preciso agir. Existem várias interações entre os três CUSUMs e estas precisam de ser consideradas, quando são feitas mudanças.

3.3.4.3 - Variação indicada no CUSUM M

Quando a mudança é indicada na resistência média, deve ser determinado o teor de cimento alterado, para restaurar a resistência média para a resistência média alvo. Isto será apresentado através do exemplo seguinte.

Suponhamos uma laje, em que é sabido que uma mudança de 8 kg/m^3 de cimento produz uma mudança na resistência média de 1 MPa, para a qual se produz betão de classe C25/30, com resistência média alvo (resistência requerida) $f_{\text{cm,alvo}} = 42 \text{ MPa}$ e teor de cimento de 400 kg/m^3 . Após traçar o resultado 26 sobre o gráfico CUSUM, para betão de classe C30, o gráfico CUSUM M corta a máscara no resultado 9. A partir da tabela de cálculos CUSUM M, nos resultados número 9 e número 26 é de + 9,0 MPa e - 58,5 MPa, respectivamente. A amplitude média alvo, ao longo de um segmento de um gráfico CUSUM, equivale à mudança de CUSUM dividido pelo número de amostras no segmento. Existe uma mudança quando até ao “ponto líder” da máscara existe um ponto que corta a máscara. No exemplo, mudança no CUSUM = $- 58,5 - (+ 9,0) = - 67,5 \text{ MPa}$
número de valores = $26 - 9 = 17$

Assim, a amplitude média alvo = $- 67,5 / 17 = - 3,97$, aproximadamente 4 MPa.

Por isso, durante o segmento, a resistência média foi de aproximadamente $42 \text{ MPa} - 4 \text{ MPa} = 38 \text{ MPa}$, em vez dos 42 MPa. Para restabelecer a resistência média, a resistência média alvo precisa então de ser aumentada em 4 MPa. De acordo com as informações dadas, sabemos que um aumento no teor de cimento de 8 kg/m^3 levanta a resistência média em cerca de 1 MPa. Portanto, a variação no teor de cimento necessário para aumentar a resistência média em 4 MPa é de $4 \times 8 = 32 \text{ kg/m}^3$. Normalmente, um factor entre 0,5 e 1,0 é aplicado nas mudanças, para reduzir a probabilidade de um excesso de reacção. Por

exemplo, ao assumir um factor de 0,75, a mudança no teor de cimento é então de $32 \times 0,75 = 24 \text{ kg/m}^3$. Este número pode ser arredondado, se assim for desejado. A mudança no teor de cimento é suposto ter ajustado a resistência média à do valor alvo e não é necessária nenhuma adaptação ao gráfico CUSUM R ou C. Contudo, após uma mudança, a parcela CUSUM M é reiniciada, normalmente, a partir de zero e todos os resultados antes da mudança são ignorados nas posteriores análises das resistências médias. O gráfico CUSUM R continua sem ajuste.

3.3.4.4 - Variação indicada no CUSUM R

O tamanho e a forma das máscaras dependem do desvio padrão em uso. Assim, como os novos resultados são inscritos no CUSUM, o CUSUM R é examinado em primeiro lugar. Quando uma mudança é detectada no desvio padrão, são adoptadas novas máscaras, tanto para o futuro gráfico CUSUM R, como para o actual gráfico CUSUM M. A máscara adequada ao novo valor de desvio padrão é utilizada para avaliar quaisquer alterações na quantidade dos constituintes ou posteriores acções resultantes da CUSUM M. Desde que é tomada a acção correcta para ajustar a quantidade de cimento para a alteração detectada, não é necessário reiniciar o CUSUM M. A variação no desvio padrão é calculada a partir da mudança no CUSUM R, dividido pelo número de valores no segmento, entre o último ponto, sobre o qual o “ponto líder” da máscara foi colocado e os pontos que cortam a máscara. É evidente que se trata de um cálculo aproximado. A mudança no desvio padrão é utilizada para calcular o actual desvio padrão, que por sua vez determina quais as máscaras a usar. Refira-se que o actual desvio padrão é usado para calcular uma nova resistência média alvo. Os novos e os antigos valores de resistência média alvo são utilizados para calcular uma mudança adequada da resistência média alvo que é, então, utilizada para calcular uma mudança na quantidade de cimento. Após essa mudança, o gráfico CUSUM R é reiniciado, normalmente, a partir de zero e todos os resultados antes da mudança são ignorados nas análises posteriores do desvio padrão. O gráfico CUSUM M é continuado, sem ajustamento e os resultados anteriores, com a mudança no desvio padrão, estão incluídos nas análises posteriores. As máscaras para o novo nível de desvio padrão são utilizadas para análises posteriores e, no caso do CUSUM M, é feita uma verificação

imediatamente, com a nova máscara, sobre os resultados anteriores, para determinar as eventuais alterações que possam ter ocorrido.

3.3.4.5 - Variação indicada no CUSUM C

Quando se indica uma alteração na correlação, importa determinar uma nova, sugerindo-se que as resistências nos primeiros dias e aos 28 dias, no segmento entre o ponto em que o “ponto líder” da máscara foi colocado e o ponto que cruza a máscara, sejam utilizadas para produzir um novo factor, gráfico ou tabela, para prever a resistência aos 28 dias. Quando é indicada uma mudança, a resistência média pode ter sido sub-estimada ou sobre-estimada. O CUSUM M poderia ser significativamente ‘desgovernado’ e precisar de ser novamente calculado. Assim, os resultados posteriores ao indicado ponto de mudança devem ser redesenhados no CUSUM M, com base em previsões de resistência ao dia 28. É necessário fazer uma verificação imediata na CUSUM M, com a máscara adequada, antes do acréscimo de quaisquer novos resultados. Se é precisa uma mudança na resistência média, como resultado do uso de valores de resistência corrigidos, esta deve ser feita antes de continuar a análise. Quando a acção de uma máscara é colocada sobre o gráfico CUSUM C. Deve ser determinada uma nova correlação e utilizada para prever a resistência aos 28 dias, para todos os pontos sobre o CUSUM M. Se esta verificação indica que não há mudança na resistência média, então o gráfico do CUSUM M continua a partir daqui. O CUSUM R é inalterado, com excepção de um pequeno efeito para o primeiro resultado, quando a análise de regressão original mudou. Neste caso, em geral, não implica a necessidade de redesenhar o CUSUM R. O gráfico CUSUM C é reiniciado, normalmente, a partir de zero.

Os métodos CUSUM foram descritos, tal como seriam aplicados à resistência de uma classe de betão. Em muitas situações, podem ser produzidas várias classes de misturas de betão. Os resultados de uma variedade de combinações podem ser incorporados num único CUSUM, desde que sejam aplicadas adaptações. Por exemplo, considere-se um CUSUM numa mistura com resistência média alvo de 35 MPa aos 28 dias. Então os resultados de uma mistura com resistência média alvo de 40 MPa em 28 dias, poderão ser incluídos, reduzindo-os em 5 MPa, antes da análise. Isto pressupõe que a relação entre resistência

média alvo e o conteúdo de cimento é conhecida. Esta abordagem pode ser estendida a outras misturas feitas, desde que a constituição dessa mistura seja conhecida.

3.3.4.6 - Resultados atípicos

Ocasionalmente, podem ocorrer resultados atípicos. Tais resultados podem, ou não, ser significativos em termos do betão colocado numa estrutura (dependendo da causa), mas, uma vez que são atípicos, não deverão ser utilizados na identificação de tendências gerais do controlo da qualidade. Por exemplo, qualquer resultado superior a três vezes o desvio padrão alvo, acima ou abaixo da resistência média, deve ser rejeitado e não ser utilizado na análise. Se o resultado seguinte for superior a duas vezes o desvio padrão alvo, tanto ao anterior como a esse resultado, deve ser rejeitada a incorporação, exigindo-se uma investigação imediata para determinar se ocorreu uma mudança grave na qualidade. Pode ser usada uma abordagem similar para grandes diferenças. Normalmente, são rejeitadas diferenças superiores a 7,5 MPa. No entanto, a fim de manter o CUSUM C sincronizado com os outros CUSUM, é normal, em tal caso, substituir um resultado falso, com base na média das diferenças dos resultados anteriores (por exemplo, média dos últimos quatro valores).

A Figura 3.8 mostra que, após 41 resultados terem sido apontados sobre o gráfico CUSUM R, existem cortes no membro superior da máscara, no resultado 10. Que mudança no teor de cimento é a adequada?

(Neste exemplo $f_{cm,alvo} = f_{ck} + 2 s_n = 30 + 2 \times 6 = 42$ MPa).

Diferença entre a resistência média alvo e a amplitude média
 = Mudança no CUSUM R ÷ número de valores em segmento
 = $(- 53,5 - 17,5) / (41 - 10) = - 2,3$ MPa

Diferença entre alvo e actual desvio padrão
 = Mudança na classe / 1,128 = $- 2,3 / 1,128$
 = - 2,0 MPa

. actual desvio padrão

$$= s_{n,\text{alvo}} + \text{mudança} = 6 + (- 2,0) \text{ MPa}$$

$$= 4,0 \text{ MPa}$$

Nova resistência média alvo (f_{cr})

$$= f_{ck} + 2 s_n$$

$$= 30 + 2 \times 4,0$$

$$= 38 \text{ MPa}$$

Variação da resistência média alvo ($f_{cm,\text{alvo}}$)

$$= \text{nova } f_{cm,\text{alvo}} - \text{antiga } f_{cm,\text{alvo}}$$

$$= 38 - 42 \text{ MPa}$$

$$= - 4 \text{ MPa}$$

Suponhamos que um aumento no teor de cimento de 8 kg/m^3 aumenta a resistência em cerca de 1 MPa. Assim (usando um factor de 0,75), a alteração no teor de cimento necessária é igual a: $0,75 \times 8 \times (- 4) \text{ kg/m}^3 = - 24 \text{ kg/m}^3$. São utilizadas novas máscaras para o novo desvio padrão (4 MPa), para análises posteriores de ambos os CUSUM M e CUSUM R [4].

3.4 - Boas Práticas na Recolha dos Provetes e Carotes

3.4.1 - Preparação de provetes

Na execução dos provetes cúbicos, foram tidos em conta e cumpridos os requisitos para o ensaio de provetes, constantes na norma NP EN 12390-1 [65]. A aresta, no caso dos provetes cúbicos e o diâmetro, no caso dos provetes cilíndricos, devem ser maiores, pelo menos, 3 vezes e meia que o tamanho do agregado do betão.

Nos provetes cúbicos, requer-se que as dimensões designadas não sejam diferentes das dimensões nominais (100 mm, 150 mm, 200 mm, 250 mm e 300 mm). No que se refere à

diferença entre a dimensão das arestas das faces do provete, importa que a tolerância seja inferior a $\pm 0,5 \%$. Na diferença entre a superfície do topo, que sofreu a intervenção da espátula e a superfície em contacto com o molde, a tolerância deve ser inferior a $\pm 1,0 \%$. A tolerância para o nivelamento da superfície potencial de carga deve ser inferior a $\pm 0,0006$ vezes a aresta, em milímetros. A tolerância para a perpendicularidade das faces do provete cúbico, em relação à base, deve ser inferior a 0,5 mm.

Nos provetes cilíndricos, as dimensões designadas não devem diferir mais do que 10 % dos tamanhos nominais (100 mm, 113 mm, 150 mm, 200 mm, 250 mm e 300 mm). A tolerância do diâmetro é de $\pm 0,5 \%$. A tolerância para o nivelamento da superfície de carga deve ser inferior a $\pm 0,0006$ vezes o diâmetro, em milímetros. A tolerância para a perpendicularidade do lado do cilindro, em relação à base, deve ser inferior a 0,5 mm. A tolerância para a altura do cilindro, que é duas vezes o diâmetro, é de $\pm 5 \%$. Para as amostras a serem utilizadas em ensaios de tracção, a tolerância da rectidão do lado é de $\pm 0,2$ mm.

É indispensável que os moldes sejam estanques e não absorventes. As juntas dos moldes devem ser revestidas com cera, óleo ou graxa, para estancar a água. Os moldes, com excepção dos moldes calibrados, podem ser feitos de qualquer material que seja adequado para a produção de provetes de betão.

É necessário que os moldes calibrados sejam feitos de aço ou ferro fundido. Se os moldes são fabricados a partir de outros materiais, os dados dos ensaios de desempenho desses materiais em uso devem estar disponíveis. É imprescindível que todas as peças de um molde calibrado sejam suficientemente robustas para evitar distorções na montagem e no uso. Os componentes do molde, com a possível excepção da peça da base, devem ter marcas de identificação.

Nos moldes calibrados para provetes cúbicos, a tolerância para o tamanho de uma aresta do molde montado é de $\pm 0,25 \%$. A tolerância para o nivelamento das quatro faces laterais do molde deve ser de $\pm 0,0003$ vezes a aresta, para novos moldes e $\pm 0,0005$ vezes a aresta

para moldes em uso. A tolerância para o nivelamento da superfície superior da placa base do molde deve ser de $\pm 0,0006$ vezes a aresta para novos moldes e $\pm 0,001$ vezes a aresta para moldes em uso. A tolerância para a perpendicularidade dos lados de um molde em relação aos lados adjacentes e dos lados em relação à base deve ser de $\pm 0,5$ mm.

Nos moldes calibrados para provetes cilíndricos, a tolerância do diâmetro e da altura é de $\pm 0,25$ %. A tolerância para o nivelamento de uma base do molde deve ser de $\pm 0,0003$ vezes o diâmetro, para novos moldes e $\pm 0,0005$ vezes o diâmetro para moldes em uso. A tolerância para a perpendicularidade do lado de um molde em relação à base é de $\pm 0,5$ mm [65].

3.4.1.1 - Objectivo

A norma NP EN 12390-2 [38] especifica métodos para executar e curar provetes para ensaios de resistência mecânica, na qual está incluída a preparação e enchimento dos moldes, a compactação do betão, o nivelamento da superfície, a cura e o transporte dos provetes. O dispositivo de compactação do betão poderá ser um dos seguintes: vibrador de agulha com uma frequência mínima de 120 Hz (7200 ciclos por minuto), com o diâmetro da agulha não excedendo um quarto da menor dimensão do provete; mesa vibradora com uma frequência mínima de 40 Hz; varão de compactação de secção transversal circular, em aço, com um diâmetro aproximadamente de 16 mm e comprimento aproximadamente de 600 mm e com as extremidades arredondadas; barra de compactação plana, em aço, tendo aproximadamente uma secção transversal quadrada de 25 mm x 25 mm e 380 mm de comprimento. A colher terá aproximadamente 100mm de largura. O tabuleiro a usar será plano, de construção rígida e feito em material não absorvente e não atacável facilmente pela pasta de cimento. Este deve ter dimensões adequadas, de modo a que o betão possa ser integralmente homogeneizado, usando pá de secção quadrada.

3.4.1.2 - Amostragem

Quanto à amostragem, é imprescindível que a amostra esteja em conformidade com a EN 12350-1 [66]. Por sua vez, esta deve ser homogeneizada, usando o tabuleiro e a pá de secção quadrada, antes de encher os moldes. A superfície interior do molde será coberta com um filme fino de produto descofrante, para prevenir a aderência do betão ao molde, antes do enchimento. Quanto à quantidade de betão usada para encher o molde, se for utilizada uma estrutura de enchimento, esta deve ser tal que a camada de betão permaneça na estrutura de enchimento depois da compactação. Para proporcionar uma boa compactação do betão, evitando o aparecimento de vazios, a espessura desta camada deve ser 10% a 20% da altura do provete. É importante que nenhuma camada tenha uma espessura superior a 100 mm, sendo que os provetes devem ser compactados num mínimo de duas camadas.

3.4.1.3 - Compactação, nivelamento e marcação

Deve compactar-se imediatamente o betão, logo após a colocação no molde, de forma a minimizar o volume de vazios da mistura, sem que produza segregação excessiva nem exsudação. É preciso também, compactar cada camada, sabendo-se que a compactação máxima se obtém usando a vibração mecânica, durante um período de tempo, até deixarem de aparecer bolhas de ar à superfície do betão e a superfície se apresente relativamente lisa, com aspecto vidrado e sem segregação excessiva. A consistência do betão irá afectar o número de pancadas por camada, necessárias para obter, manualmente, uma compactação máxima.

Na compactação com vibrador de agulha, a vibração deve ser efectuada durante o tempo mínimo necessário para atingir a compactação máxima do betão. Importa evitar vibrações excessivas, de modo a não causar perda do ar introduzido no betão. Convém ainda ter cuidado para não danificar o molde e assegurar que a agulha se mantenha na posição vertical, de forma a não tocar no fundo ou nas paredes do molde. Os ensaios de laboratórios

têm mostrado que, quando se usa um vibrador de agulha, é necessário muito cuidado para evitar a perda do ar introduzido no betão.

Na compactação com mesa vibratória, a vibração deve ser aplicada durante o tempo mínimo necessário para atingir a compactação máxima do betão. O molde deve ser ligado ou mantido contra a mesa firmemente, evitando vibrações excessivas, as quais podem causar perda do ar introduzido no betão.

A compactação manual é feita com uma barra ou varão de compactação. As pancadas aplicadas com o varão ou a barra de compactação devem ser uniformemente distribuídas sobre a secção transversal do molde, havendo o cuidado de que o varão ou barra de compactação não batam violentamente no fundo do molde, quando se compacta a primeira camada, ou penetrem significativamente na camada anterior, sujeitando o betão a um mínimo de 25 pancadas por camada. Deve ainda bater-se, levemente, com o maço de borracha nos lados do molde até que deixem de aparecer, à superfície, grandes bolhas de ar e sejam removidas as depressões deixadas pelo varão ou barra de compactação. Isto vai permitir remover bolsas de ar, mas não de ar introduzido, depois da compactação de cada camada [38] (Figura 3.9).



Figura 3.9 - Compactação manual

Deve-se remover o betão excedente acima do bordo superior do molde usando colheres de trolha de aço, por intermédio de movimentos tipo serra e que permitam nivelar, com cuidado, a superfície. O provete de ensaio deve ser marcado clara e indelevelmente, sem

danificar o provete. O registo deve ser conservado para se garantir a rastreabilidade do provete desde a amostragem até ao ensaio.

3.4.1.4 - Cura

É necessário deixar o provete de ensaio no molde, pelo menos 16 horas, mas não mais de três dias, protegido contra choques, vibrações e desidratação, à temperatura de $20\text{ °C} \pm 5\text{ °C}$ (ou $25\text{ °C} \pm 5\text{ °C}$ em climas quentes). Após remoção do molde, é preciso curar o provete até imediatamente antes do ensaio, imerso em água, à temperatura de $20\text{ °C} \pm 2\text{ °C}$, ou em câmara a $20\text{ °C} \pm 2\text{ °C}$ e a humidade relativa $\geq 95\%$. Em caso de falta de acordo, a cura em água deve ser o método de referência. Convém que sejam feitas verificações regulares para que, na câmara, as superfícies dos provetes estejam continuamente molhadas. No transporte dos provetes, deve evitar-se perdas de humidade e desvios à temperatura requerida nas várias etapas de transporte através, por exemplo, do condicionamento do provete de ensaio endurecido em areia molhada ou serradura ou tecidos molhados, ou em sacos de plástico selados contendo água [38].

3.4.1.5 - Relatório de ensaio

O relatório de ensaio deve incluir os seguintes dados: identificação da amostra; data e hora de preparação dos provetes; condições de armazenamento dos provetes antes de desmoldar, incluindo duração e condições; método de cura dos provetes depois de desmoldar, durante o transporte, (se adequado), indicando a gama de temperaturas e a duração da cura; qualquer desvio ao método de ensaio normalizado de fabrico e cura dos provetes; declaração da pessoa tecnicamente responsável pelo ensaio que foi realizado. O relatório pode incluir ainda: a temperatura do betão homogeneizado; o método de compactação do betão nos moldes e o número de pancadas, no caso de compactação manual; a condição de recepção dos provetes para cura, se for adequado.

3.4.2 - Carotagem

Para as estruturas e componentes prefabricados, a NP EN 13791 [67] estabelece técnicas para estimar a resistência à compressão do betão “in situ”. Os efeitos, tanto dos materiais como da execução, são tidos em conta pelo ensaio da resistência “in situ”. Estes ensaios não substituem os ensaios de betão previstos na NP EN 206-1 [1]. Esta norma refere que a NP EN 13791 [67] tem orientações para avaliação da resistência na estrutura e componentes prefabricados. A estimativa da resistência à compressão do betão pode ser requerida nas seguintes situações: quando a estrutura existente for modificada ou redimensionada; quando, na avaliação da aptidão estrutural, houver dúvidas acerca da resistência à compressão na estrutura, devido a execução deficiente, deterioração do betão provocada por fogo ou outras causas; quando, durante a construção, for necessária uma avaliação da resistência do betão “in situ”; para avaliação da aptidão estrutural, no caso de não conformidade da resistência à compressão obtida a partir dos provetes normalizados; para avaliação da conformidade da resistência do betão “in situ”, quando especificada numa norma ou especificação de produto.

Encontram-se resumidos na Figura 3.10 os procedimentos para estas diferentes utilizações. Quando permitido por disposições nacionais, para condições de produção e materiais constituintes específicos, o desenvolvimento de uma composição económica pode ser possível, através da avaliação do coeficiente parcial de segurança, γ_c , pelo conhecimento da resistência à compressão “in situ” e da resistência de provetes normalizados. Sempre que se avaliarem as resistências à compressão, nos casos que não sejam a verificação da qualidade do betão ou da execução, ou antes da aceitação da estrutura para utilização, deverá ser determinada, caso a caso, a redução apropriada do coeficiente parcial de segurança, de acordo com disposições nacionais.

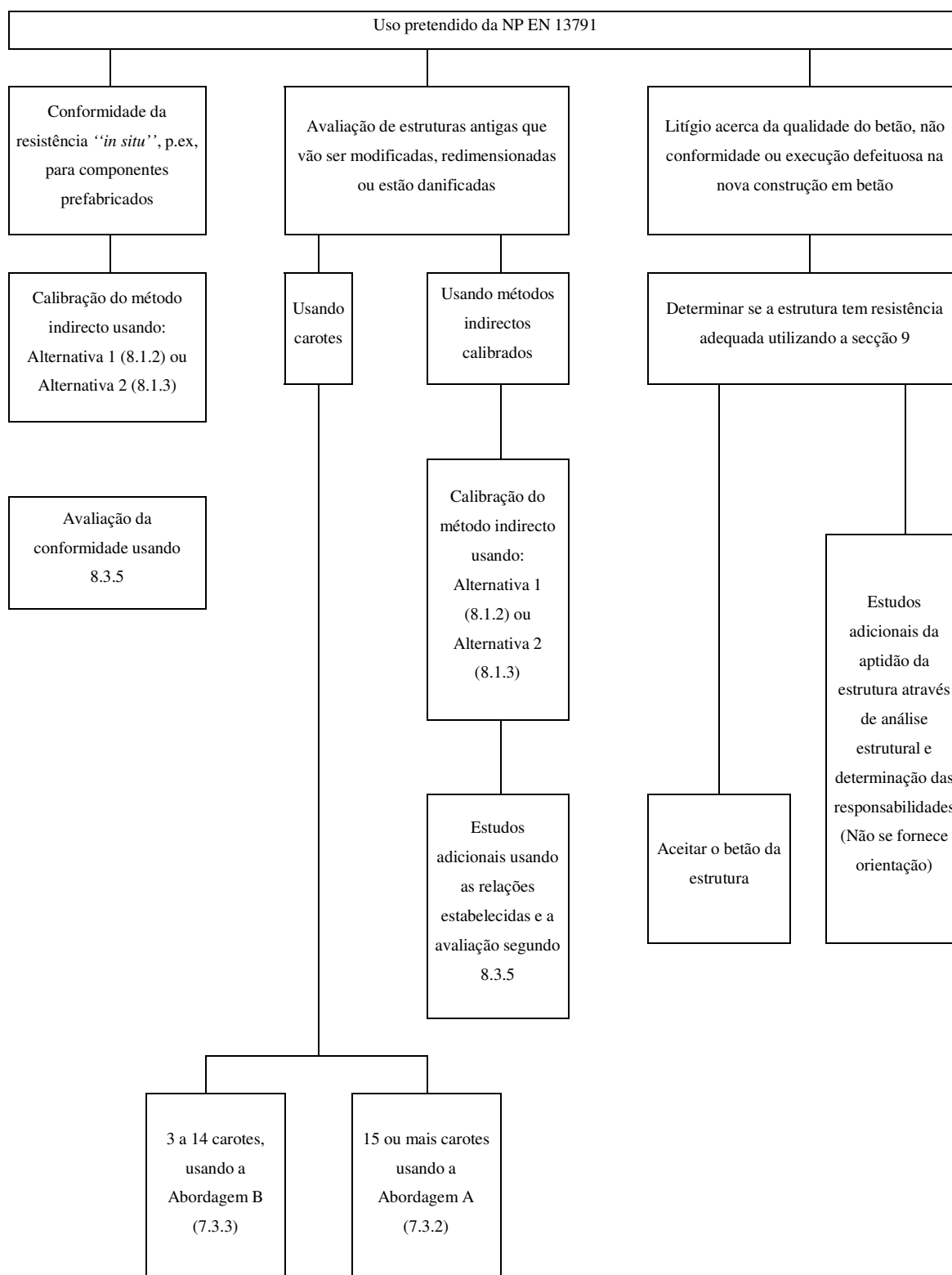


Figura 3.10 - Organograma 1 [67]

A norma NP EN 13791 [67] indica métodos e procedimentos que permitem avaliar a resistência à compressão do betão “in situ”, nas estruturas e em elementos prefabricados; fornece princípios e orientações para o estabelecimento de relações entre os resultados dos métodos de ensaio indirectos e a resistência das carotes; fornece recomendações para a avaliação da resistência à compressão do betão “in situ”, nas estruturas e em elementos prefabricados, segundo métodos indirectos ou combinados.

A NP EN 13791 [67] não trata dos seguintes casos: aplicação dos métodos indirectos, sem correlação com a resistência de carotes; avaliação baseada em carotes de diâmetro inferior a 50 mm; avaliação baseada num número de carotes inferior a três; utilização de microcarotes. Nestes casos, aplicam-se as disposições válidas no local de utilização. Esta norma não trata da avaliação da conformidade da resistência à compressão do betão, segundo a NP EN 206-1 [1], com excepção do a seguir indicado.

3.4.2.1 - Relação da resistência à compressão com a classe de resistência

A avaliação da resistência à compressão “in situ”, directamente a partir de ensaios de carotes, constitui o método de referência. A avaliação pode também ser feita indirectamente por outros métodos, ou por uma combinação de vários métodos de ensaio. Sempre que se utilizarem métodos indirectos, há que ter em conta a incerteza associada às relações entre o ensaio e o ensaio das carotes. Os dados do ensaio podem ser utilizados para estimar a resistência à compressão “in situ”, característica e classe de resistência da NP EN 206-1 [1]. No Quadro 3.18 são apresentados os requisitos relativos à mínima resistência à compressão “in situ” característica, em relação às classes de resistência da NP EN 206-1 [1].

Quadro 3.18 - Mínima resistência à compressão “in situ” característica para as classes de resistência à compressão da NP EN 206-1

Classes de resistência à compressão da EN 206-1	Relação entre a resistência “in situ” característica e a resistência característica de provetes normalizados	Mínima resistência “in situ” característica N/mm ²	
		$f_{ck, is, cyl}$	$f_{ck, is, cube}$
C8/10	0,85	7	9
C12/15	0,85	10	13
C16/20	0,85	14	17
C20/25	0,85	17	21
C25/30	0,85	21	26
C30/37	0,85	26	31
C35/45	0,85	30	38
C40/50	0,85	34	43
C45/55	0,85	38	47
C50/60	0,85	43	51
C55/67	0,85	47	57
C60/75	0,85	51	64
C70/85	0,85	60	72
C80/95	0,85	68	81
C90/105	0,85	77	89
C100/115	0,85	85	98

NOTA 1: A resistência à compressão “in situ” pode ser inferior à que é medida sobre provetes normalizados extraídos do mesmo betão.

NOTA 2: A relação 0,85 está incluída no coeficiente da EN 1992-1-1:2004.

3.4.2.2 - Avaliação da resistência à compressão através de carotes

As carotes devem ser extraídas, examinadas e preparadas conforme a NP EN 12504-1 [68] e ensaiadas conforme a NP EN 12390-3 [30]. Requer-se que as carotes estejam expostas ao ambiente do laboratório durante pelo menos 3 dias antes do ensaio, excepto se tal não for possível. Se a exposição durante 3 dias não for possível, será registada a duração da

exposição. Deverá, então, ser avaliada a influência deste desvio ao procedimento normalizado.

Caso a determinação da resistência seja feita a partir de carotes, o ensaio numa carote com comprimento igual ao diâmetro nominal de pelo menos 100 mm dá um valor da resistência equivalente ao valor da resistência de um cubo de 150 mm, confeccionado e curado nas mesmas condições. O ensaio numa carote com um diâmetro nominal de pelo menos 100 mm e não mais de 150 mm e uma razão altura/diâmetro igual a 2,0 dá um valor da resistência equivalente à resistência de um cilindro de 150 mm de diâmetro e 300 mm de altura, confeccionado e curado nas mesmas condições. A transposição de resultados de ensaios de carotes, com diâmetros de 50 mm a 150 mm e outras razões comprimento/diâmetro devem ser baseadas em factores de conversão, com aptidão estabelecida. Os factores de conversão aptos para outras dimensões e razões comprimento/diâmetro devem ser dados em disposições válidas no local de utilização. Exige-se que o resultado da carote não seja modificado, para ter em conta a direcção da carotagem, a menos que requerido pelas especificações de projecto ou por disposições válidas no local de utilização.

Numa zona de ensaio, o número de carotes a extrair deve ser determinado pelo volume de betão envolvido e finalidade do ensaio das carotes. Cada área de ensaio compreende uma carote. Por razões estatísticas e de segurança, para avaliação da resistência à compressão “in situ”, deverão ser utilizadas tantas carotes quanto for praticável. Para uma zona de ensaio particular, uma avaliação da resistência à compressão “in situ” deve ser fundamentada em, pelo menos, 3 carotes. Todas as implicações possíveis da carotagem sobre as estruturas são para ter em conta. Refira-se que o número de provetes apresentado se reporta a carotes com pelo menos um diâmetro de 100 mm. Se o diâmetro for inferior a 100 mm, o número de carotes tem de ser aumentado.

A resistência “in situ” característica é avaliada, utilizando a abordagem A ou a abordagem B. Quando estão disponíveis pelo menos 15 carotes, aplica-se a abordagem A. Quando estão disponíveis 3 a 14 carotes, aplica-se a abordagem B. Pode ser definida no local de

utilização a aplicação das duas abordagens na avaliação da resistência do betão em estruturas existentes, acerca das quais não há informação anterior.

Na abordagem A, a estimativa da resistência à compressão “in situ” característica da zona de ensaio é o menor valor de:

$$f_{ck, is} = f_{cm, is} - k_2 s_n \quad (3.25)$$

ou de

$$f_{ck, is} = f_{ci, is, men} + 4 \quad (3.26)$$

onde s_n é o desvio padrão dos resultados dos ensaios ou $2,0 \text{ N/mm}^2$, tomando-se o maior valor; k_2 é dado em disposições nacionais, ou, se não for dado, é igual a 1,48. A partir do Quadro 3.18, é obtida a classe de resistência, utilizando a estimativa da resistência à compressão “in situ” característica. A estimativa da resistência característica, usando o menor resultado das carotes, deverá reflectir a confiança de que este resultado mais fraco representa a menor resistência na estrutura ou componente em consideração. A zona de ensaio deve ser dividida em duas, quando a distribuição das resistências das carotes parece vir de duas populações [68].

Na abordagem B, a estimativa da resistência à compressão “in situ” característica da zona de ensaio é o menor valor de:

$$f_{ck, is} = f_{cm, is} - k \quad (3.27)$$

ou de

$$f_{ck, is} = f_{ci, is, men} + 4 \quad (3.26)$$

A margem k depende do número n de resultados de ensaio e o valor apropriado é seleccionado no Quadro 3.19.

Quadro 3.19 - Margem k associada a pequeno número de resultados de ensaio

n	k
10 a 14	5
7 a 9	6
3 a 6	7

Esta abordagem fornece estimativas de resistências características que são, geralmente, inferiores às observadas com mais resultados de ensaio, devido à incerteza associada ao pequeno número de resultados de ensaio e à necessidade de providenciar o mesmo nível de fiabilidade. Recomenda-se a extracção de mais carotes ou utilizar uma abordagem combinada, quando estas estimativas da resistência “in situ” característica forem consideradas demasiado conservadoras, de forma a ter mais resultados de ensaio. Por esta razão, esta abordagem não deverá ser utilizada em caso de litígio sobre a qualidade do betão [68].

3.4.2.3 - Factores que influenciam a resistência das carotes

Os factores que influenciam a resistência das carotes podem ser classificados em categorias, conforme a sua influência está ligada a uma propriedade do betão ou é provocada por uma variável de ensaio. A história da conservação da estrutura e a idade do betão quando da extracção da carote, influenciam a resistência de uma carote. Devem ser tidos em conta, aquando da avaliação dos resultados de ensaio, certos factores de influência, enquanto outros são geralmente ignorados.

A resistência medida é influenciada pelo teor de água da carote. Assim, a resistência duma carote saturada de água é cerca de 10 % a 15 % inferior à duma carote seca ao ar, cujo teor de água é, geralmente, compreendido entre 8 % a 12 %. Por outro lado, um aumento da porosidade diminui a resistência. Deste modo, havendo, aproximadamente, 1 % de vazios, decresce a resistência cerca de 5 % a 8 %. É de salientar também que a resistência medida de uma carote, cortada verticalmente na direcção da betonagem, depende da estabilidade do betão fresco, sendo maior do que se for extraída horizontalmente no mesmo betão, estabelecendo-se a diferença, normalmente, entre 0 % a 8 %.

Os defeitos locais das carotes podem ser devidos a várias causas. Estes incluem aumento de água por baixo de partículas planas ou armaduras horizontais e vazios devidos a segregação. Deverá ser avaliada, separadamente, a validade da avaliação da resistência, a partir de tais carotes e a sua aptidão para representar a resistência geral “in situ”. O

diâmetro da carote influencia a resistência medida e a variabilidade dessa mesma resistência. A resistência dum carote extraída horizontalmente com 100 mm de diâmetro e uma altura com ($l/d = 1$) corresponde à resistência de um cubo de lado igual a 150 mm.

Se as carotes tiverem diâmetros inferiores a 100 mm e $l/d = 1$, a variabilidade da resistência é geralmente maior. Assim, com carotes de 50 mm, pode ser apropriado utilizar um número de carotes três vezes superior ao utilizado em relação àquelas cujo diâmetro é de 100mm e interpolar, linearmente, para carotes com diâmetros entre 50mm e 100mm. Com o decréscimo da razão diâmetro da carote/máxima dimensão do agregado, aumenta a variabilidade da resistência medida. As carotes cujo diâmetro seja inferior a 50 mm (microcarotes) necessitam de procedimentos não cobertos pela NP EN 13791 [67].

A resistência medida é influenciada pela razão comprimento/diâmetro dum carote. A resistência diminui para $l/d > 1$ e aumenta para $l/d < 1$, sendo a principal causa a restrição introduzida pelos pratos das máquinas de ensaio.

A resistência medida diminui com os desvios de planura. Como especificado na NP EN 12390-1 [65], a tolerância da planura deverá ser igual à dos provetes normalizados. A resistência diminui com capeamentos de baixa resistência. Capeamentos finos de argamassa ou de enxofre de alta resistência não influenciam, significativamente, a resistência. É preferível, no entanto, recorrer à rectificação das superfícies de topo.

O betão imaturo ou fraco, pode ser danificado por operações de carotagem e, normalmente, não é possível ver os efeitos na superfície cortada. Uma carote pode ser inerentemente mais fraca que um cilindro por a superfície das carotes incluir partes do agregado que só podem ficar retidas na superfície por adesão à matriz. Tais partículas pouco contribuem para a resistência da carote.

Para medir a resistência do betão, as carotes utilizadas não deverão conter armaduras. Se tal não puder ser evitado, deve ser expectável que ocorra uma redução da resistência medida, no caso dum carote contendo armadura (não situada axialmente). Não são adequadas, para

ensaios de resistência, as carotes com armaduras no seu eixo longitudinal (ou próximo dele).

3.4.2.4 - Relatório da avaliação

O relatório da avaliação deve incluir os seguintes dados: finalidade da avaliação; identificação e descrição da estrutura ou componentes prefabricados de betão; informação disponível sobre o betão (composição, classes de resistência, idade, etc.); programa de ensaios, incluindo métodos de ensaio, carotes (dimensões, tratamento, etc.), plano de amostragem, número de ensaios; data e resultados dos ensaios; cálculos; avaliação da resistência à compressão “in situ” característica e, se necessário, classe de resistência à compressão equivalente, de acordo com a NP EN 206-1 [1].

A resistência à compressão de carotes e a resistência “in situ” são, geralmente, menores do que as medidas sobre provetes normalizados amostrados da mesma amassadura de betão. Isto fica a dever-se a diversos factores que incluem o grau de compactação e cura nas condições práticas locais e dependem da posição do elemento onde a resistência “in situ” é determinada.

Os ensaios sobre betão “in situ” indicam o seguinte: num elemento estrutural, a resistência “in situ” pode variar, tanto aleatoriamente como de forma ordenada; a amplitude das variações da resistência “in situ” nos elementos estruturais pode variar de um membro para outro; tendo em conta a espessura duma camada de betão, a resistência “in situ” decresce para o topo duma camada, mesmo em lajes e pode ser 25 % menor no topo que no corpo do betão. O betão de menor resistência é muitas vezes concentrado nos 300 mm superiores ou a 20 % da profundidade, considerando-se o menor valor. O projecto duma estrutura de betão armado ou pré-esforçado é baseado num princípio aceite, de que o betão é um material aleatoriamente variável, cujos resultados de ensaio seguem uma distribuição normal. São inevitáveis diferenças entre a resistência “in situ” do betão e a de provetes normalizados.

O planeamento das zonas de ensaio é afectado pelo objectivo da avaliação da resistência “in situ” duma estrutura de betão, ou de elementos prefabricados de betão. É identificada uma ou várias zonas de ensaio e um certo número de áreas de ensaio seleccionadas em cada uma das zonas. O método de ensaio utilizado influencia a escolha da dimensão das áreas de ensaio. Por sua vez, a fiabilidade da avaliação depende do número de resultados de ensaio obtidos em cada zona de ensaio.

Sempre que a classe de resistência à compressão duma estrutura inteira é avaliada, no que respeita à resistência “in situ”, a estrutura deverá ser dividida em zonas de ensaio em que o betão é suposto pertencer à mesma população, com a mesma distribuição e sendo representativa da qualidade geral. Para verificar se a hipótese de uma única distribuição é razoável, deverão ser revistos os dados respeitantes às carotes.

Na avaliação da resistência “in situ”, deverá ser tido em conta o facto de que a resistência do betão é, geralmente, mais fraca na proximidade da superfície superior do elemento da construção ou elemento estrutural e que aumenta com a profundidade, a partir do superfície de topo.

Quando a capacidade de carga duma estrutura existente precisa de ser avaliada, os ensaios deverão ser concentrados no betão que é representativo das partes mais esforçadas da estrutura. No entanto, a amostragem não deverá afectar a capacidade de carga.

Sempre que está a ser avaliado o tipo ou a extensão dos danos, as zonas de ensaio deverão ser concentradas nas partes onde os efeitos negativos são conhecidos ou se supõe terem ocorrido. Assim, pode ser benéfico comparar estes resultados com os da amostragem de partes não danificadas.

Se o objectivo for a obtenção de dados representativos, as áreas de ensaio individuais, em cada zona de ensaio, deverão ser amostradas aleatoriamente. Por regra, a amostragem deverá ser planeada de tal forma, que seja seguro que a amostragem aleatória, num

elemento estrutural ou componente prefabricado de betão represente a distribuição das propriedades do betão, no conjunto da população.

Pode haver a necessidade de incluir na avaliação da resistência à compressão “in situ”, a consideração da idade do betão, na altura do ensaio e as condições de humidade. A qualquer idade, a resistência pode ser avaliada, mas a idade deverá ser reportada e tomada em consideração, se necessário. Por exemplo, quando a capacidade de carga da estrutura tem interesse, é principalmente a resistência à compressão no momento do ensaio (resistência “in situ” actual) que é importante. É importante ter em conta as condições de humidade da estrutura. As carotes deverão ser ensaiadas saturadas, nos casos onde a estrutura ou o elemento prefabricado de betão está húmido. De igual modo, se a estrutura ou elemento prefabricado de betão está seco, as carotes deverão ser ensaiadas secas. Regra geral, e a menos que seja especificado de forma diferente, as carotes deverão ser ensaiadas secas.

3.4.2.5 - Ensaio à compressão

A NP EN 12504-1 [68] especifica um método para a extracção de carotes de betão endurecido, o seu exame, a preparação para o ensaio e a determinação da resistência à compressão. Esta norma não dá orientações sobre a decisão de carotear ou sobre as localizações das carotes e, do mesmo modo não estabelece procedimentos para a interpretação dos resultados da resistência das carotes. As carotes extraídas com uma caroteadora são cuidadosamente examinadas, preparadas por desgaste ou capeamento e ensaiadas à compressão, segundo procedimentos normativos.

Quando a relação entre a máxima dimensão do agregado do betão com o diâmetro da carote é maior do que cerca de 1:3, isto influencia, significativamente, a resistência medida. Antes da extracção das carotes, é essencial que se considere cuidadosamente o objectivo do ensaio e da interpretação dos resultados. É necessário considerar as implicações estruturais, resultantes da extracção de carotes, antes de carotear. De preferência, as carotes devem ser retiradas em pontos afastados das juntas ou arestas do elemento de betão e onde haja pouca

ou nenhuma armadura. Por outro lado devem ser obtidas perpendicularmente à superfície, de forma a não serem danificadas, a menos que seja especificada diferentemente. A caroteadora deve ser posicionada rigidamente, durante a carotagem. Deve ter-se em conta, ao decidir o comprimento das carotes para ensaios de resistência, o seguinte: a) o diâmetro da carote; b) o método possível de preparação da carote; c) se a comparação será feita com a resistência do cubo ou resistência do cilindro. Após carotear, há que marcar cada carote, de forma clara e indelével, e registar a sua localização e orientação, dentro do elemento de onde foi retirada. Se se cortar a carote para produzir um certo número de provetes, é preciso marcar cada uma destas, de forma a identificar a sua posição e orientação na carote original. Durante a carotagem importa evitar, sempre que possível, a armadura e assegurar que as carotes, para determinação da resistência à compressão, não contêm qualquer varão orientado longitudinalmente, ou próximo desta orientação.

É indispensável efectuar-se uma inspecção visual do provete, para identificar possíveis anomalias. As medições devem ser feitas do seguinte modo: a) o diâmetro do tarolo deve ser medido com uma aproximação de $\pm 1\%$, a partir de pares de medidas obtidas em ângulos rectos, até pontos a metade e a um quarto do comprimento do tarolo; b) no comprimento da carote, os comprimentos máximo e mínimo devem ser medidos com uma aproximação de $\pm 1\%$, como recepcionados e o comprimento, após terminar a preparação final, em conformidade com a NP EN 13791 [67]; c) quanto à armadura, deve ser medido o diâmetro e a posição desde o centro do varão exposto às extremidades ou eixo do tarolo, ambas como recebidas e após a preparação final. Todas as medições devem ser efectuadas com aproximação a 1 mm e registadas.

As extremidades das carotes para ensaios à compressão devem estar de acordo com a NP EN 12390-3 [30]. As relações comprimento/diâmetro são de preferência: a) 2,0 se o resultado da resistência for para comparar com a resistência do cilindro; b) 1,0 se o resultado da resistência for para comparar com a resistência do cubo. A carote deve ser preparada dentro das seguintes tolerâncias: a) para a planura, a tolerância para as extremidades, preparadas por desgaste ou capeamento, usando cimento com elevado teor de alumina ou enxofre, deve estar em conformidade com a NP EN 12390-1 [65]; b) para a

perpendicularidade a tolerância para as extremidades preparadas, relativamente à lateral, deve estar em conformidade com a NP EN 12390-1 [65]; c) para a linearidade, a tolerância da linha geradora do provete deve ser 3% do diâmetro médio do tarolo. Se forem ensaiadas outras carotes, com diâmetros inferiores às tolerâncias acima indicadas, devem ser consideradas no que respeita à sua adequabilidade e restrição se necessário.

Devem registar-se as condições de armazenamento da carote. Se for requerido, há que ensaiar a carote saturada, mantê-la em água a (20 ± 2) °C, pelo menos até 40 horas antes do ensaio. Deve efectuar-se o ensaio em conformidade com NP EN 12390-3 [30], usando uma máquina de ensaios à compressão, como prevê a NP EN 12390-4 [69]. Não se deve ensaiar carotes com fissuras, buracos ou má aderência do capeamento. Há que remover qualquer areia não aderente ou outro material da superfície do provete. Se a carote a ensaiar estiver ainda húmida, é preciso remover a água da sua superfície. Deve-se registar as condições de humidade superficiais (seco/húmido) da carote na altura do ensaio.

Para determinar a resistência à compressão de cada carote, divide-se a carga máxima pela área da secção transversal, calculada a partir do diâmetro médio e exprime-se o resultado com aproximação ao 0,5 MPa.

O relatório deve incluir: descrição e identificação da carote ensaiada; máxima dimensão nominal do agregado; data da carotagem; inspecção visual com registo das anomalias identificadas; quanto à armadura (quando apropriado), o diâmetro e a posição em milímetros; método usado para a preparação da carote (corte, desgaste ou capeamento); comprimento e diâmetro da carote; relação comprimento/diâmetro da carote preparada; condição de humidade superficial na altura do ensaio; data da realização do ensaio; resistência à compressão da carote, em MPa ou N/mm^2 ; qualquer desvio ao método normalizado de observação ou de ensaio à compressão; declaração da pessoa tecnicamente responsável pelo exame e ensaio de que estes estão de acordo com a NP EN 12504-1 [68].

As experiências com o ensaio de carotes de 25 mm, 50 mm e 100 mm de diâmetro, contendo agregados com a máxima dimensão de 20 mm e 40 mm, mostraram que:

- a) para agregado de 20 mm, as carotes de 100 mm de diâmetro foram aproximadamente 7% mais resistentes do que as carotes de 50 mm de diâmetro, e as carotes de 50 mm de diâmetro foram aproximadamente 20% mais resistentes do que as carotes de 25 mm de diâmetro;
- b) para agregado de 40 mm, as carotes de 100 mm de diâmetro foram aproximadamente 17% mais resistentes do que as carotes de 50 mm de diâmetro, e as carotes de 50 mm de diâmetro foram aproximadamente 19% mais resistentes do que as carotes de 25 mm de diâmetro.

Conformidade da Resistência à Compressão do Betão

4. Trabalho Experimental

4.1 - Descrição do Trabalho Experimental

No capítulo 4 tratar-se-á de toda a parte experimental do trabalho, quer em laboratório, quer em obra, quer na central de produção, fazendo-se a análise dos resultados.

4.1.1 - Laboratório - Controlo da conformidade dos betões ensaiados entre os anos 1998 e 2008

Nesta parte do trabalho é apresentado o controlo da conformidade da resistência à compressão dos betões aplicados em obras do distrito de Braga, para o intervalo de anos desde 1998 até 2008, ensaiados no Laboratório de Materiais de Construção da Universidade do Minho, sendo para tal realizado um levantamento no respectivo Laboratório, com o posterior tratamento estatístico dos resultados. Os ensaios foram efectuados para diferentes classes de betão, utilizando provetes cúbicos de dimensões $15 \times 15 \times 15 \text{ cm}^3$ e $20 \times 20 \times 20 \text{ cm}^3$, submetidos a ensaios de rotura à compressão.

Antes de entrar, propriamente, na descrição da análise desenvolvida, é importante esclarecer que nem todos os provetes datados deste período, encontrados em arquivo, foram motivo de estudo. Em princípio, deveriam considerar-se apenas os provetes ensaiados aos 28 dias. No entanto, tendo em conta que, por vezes, devido sobretudo a feriados, é impossível ensaiar exactamente aos 28 dias, consideraram-se também os provetes ensaiados entre 26 e 31 dias.

Relativamente a cada ano, várias foram as obras consideradas. Dentro de cada obra, um ou mais ensaios foram realizados. Individualmente, para cada ensaio, procedeu-se à verificação dos critérios de conformidade da resistência à compressão, assim como à determinação da classe do betão obtida, no conjunto de provetes ensaiados.

O procedimento adoptado no controlo da conformidade dos resultados dos ensaios de laboratório, no intervalo de 1998 a 2008, foi feito de acordo com a norma NP ENV 206 [2], que era a norma que se encontrava em vigor na altura. A análise foi realizada para vários provetes da mesma obra, considerando o mínimo de três resultados para as classes C12/15, C16/20 e C20/25 e de seis resultados para as classes superiores, com 28 dias de idade. Do mesmo modo, aplicou-se também a NP EN 206-1 [1], comparando os resultados entre as duas normas. Calculou-se ainda, qual a distância a que se encontravam as resistências obtidas à compressão dos betões, em relação à tensão característica pretendida, procurando-se com este cálculo, constatar qual a gravidade do não cumprimento das normas, consoante a distância entre a classe obtida e a classe exigida. Não se aplicou aqui a norma americana ACI 318 [3], fundamentalmente, porque não existiam resultados suficientes, por obra, para se poder analisar a conformidade da resistência à compressão segundo esta norma.

Depois, analisou-se a evolução da qualidade do betão por cada empreiteiro, no referido intervalo de anos em estudo, procedendo-se do mesmo modo. Compararam-se os resultados obtidos nas normas NP ENV 206 [2] e NP EN 206-1 [1]. Calculou-se igualmente qual a distância a que se encontravam as resistências obtidas à compressão dos betões, em relação à tensão característica pretendida, de forma a constatar qual a gravidade do não cumprimento das normas.

4.1.2 - Obra - Recolha de provetes em dez obras do distrito de Braga

A recolha de vários provetes em algumas obras, ao longo dos anos de 2007, 2008 e 2009, teve o objectivo de realizar um estudo estatístico “alargado”, não só do número mínimo de resultados exigidos pela NP EN 206-1 [1] mas, com um vasto número de resultados e com várias combinações entre si, respeitando o número mínimo de resultados exigidos pela norma, verificar que possibilidades existem desta ser respeitada ou não. Além de se verificarem os resultados na globalidade, aplicando a actual NP EN 206-1 [1], fez-se uma comparação dos resultados obtidos através dessa norma, com os resultados resultantes da aplicação das normas NP ENV 206 [2] e as americanas ACI 318 [3] e ACI 214R-02 [4].

Fazendo a carotagem de uma peça betonada na altura da recolha dos provetes, que depois foi curada em obra nas mesmas condições climatéricas do betão da estrutura, obtiveram-se 3 carotes por obra, aos quais foram aplicadas as normas NP EN 13791 [67] e ASTM C42 [61], comparando os resultados obtidos.

Foram contactadas algumas empresas, para a possibilidade de recolha nas suas obras, de provetes de betão, ensaiando-os no Laboratório de Materiais de Construção da Universidade do Minho. Para a realização dos ensaios foram utilizados equipamentos existentes no referido Laboratório, tais como vibrador de agulha e moldes (Figuras 4.1 e 4.2).



Figura 4.1 - Vibrador de agulha e moldes

Em relação às classes de inspeção a aplicar a cada uma das obras, podemos dividi-las em dois grupos: as obras com classe de inspeção 1 (obras 1, 5, 6 e 10) e as obras com classe de inspeção 2 (obras 2, 3, 4, 7, 8 e 9). As obras 1 e 10 correspondem a edifícios inferiores ou iguais a 2 andares, cujas lajes e vigas em betão armado eram com vãos inferiores a 10 metros. A obra 5 era um muro de suporte de terras e a obra 6 uma parede simples. As obras 2, 3, 4, 7 e 9 eram edifícios com mais de 2 andares. As obras 2 e 9 foram moradias unifamiliares, as obras 3, 4 e 7 edifícios multifamiliares e a obra 8 foi uma laje com um vão de 20 metros e com uma classe de resistência característica C30/37.



Figura 4.2 - Ensaio de Compressão

Uma vez que não fazia parte dos objectivos deste trabalho, o ensaio de consistência não foi controlado de acordo com a norma NP EN 206-1 [1]. Nas obras submetidas a uma classe de inspecção 1, não se realizou. Neste caso far-se-ia de uma forma aleatória, ou em caso de dúvida do utilizador, ao tomar contacto visual com o betão. Nas obras submetidas a uma classe de inspecção 2 foi constatada a sua realização pelo empreiteiro. A partir desta classe faz-se a inspecção a cada entrega, ou sempre que se colhem ensaios de betão endurecido e em caso de dúvida.

No que diz respeito aos ensaios de identidade para a resistência à compressão, os ensaios foram feitos de acordo com a norma NP EN 206-1 [1]. Nas obras de classe de inspecção 1, estes ensaios incidem no betão sem marcação CE ou qualquer outra certificação (obra 5), ou em caso de dúvida. Nas obras de classe de inspecção 2, estes ensaios realizam-se para o betão sem marcação CE ou qualquer outra certificação (obra 2), ou em caso de dúvida, ou, ainda de acordo com as especificações de projecto.

Nas obras 1, 3, 7 e 9 utilizou-se betão pronto com certificação do controlo de produção, da classe de resistência à compressão C20/25. Na obra 2 foi utilizado betão feito em obra da

classe de resistência C20/25. Na obra 4 analisou-se betão pronto com certificação do controlo de produção, de classe C25/30. Na obra 5, a classe de resistência à compressão pretendida foi a C12/15 e era betão feito em obra. Na obra 6, a classe de resistência à compressão pretendida foi igualmente a C12/15, só que, desta vez, tratava-se de betão pronto com certificação do controlo de produção. Finalmente, nas obras 8 e 10 utilizou-se, mais uma vez betão pronto com certificação do controlo de produção, tendo na primeira análise sido utilizado betão C30/37 e na segunda C16/20.

Dentro de cada obra, foram obtidos 10 resultados de resistência à compressão e betonada uma peça de betão, com as dimensões de 40x40x20 cm³, tendo-se daí extraído três carotes cilíndricos de 10 cm de diâmetro e 20 cm de altura: uma foi retirada do centro da peça (C), outra da esquina (E) e a última do lado (L) (Figura 4.3). Depois, e como já referido, aplicaram-se as normas NP EN 13791 [67] e ASTM C42 [61], comparando os respectivos resultados.

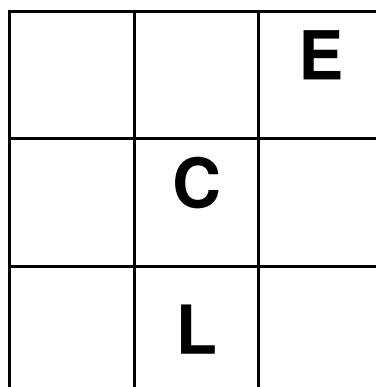


Figura 4.3 - Esquema de extração das carotes

Como forma de identificarmos a maneira de trabalhar de cada um dos empreiteiros nas 10 obras, foram realizados três tipos de inquéritos aos respectivos encarregados: um sobre a “Preparação e Conservação de Provetes”, outro sobre “Betão feito em Obra” e um último sobre o “Betão Pronto”.

Após inspeção visual, nas 10 obras em estudo, verificou-se que nas obras 5 e 6 a qualidade dos provetes era boa, apresentando uma fisionomia compacta, com pouquíssimos vazios.

Nas obras 2, 9 e 10 a qualidade era razoável, enquanto que nas obras 1, 3 e 4 a qualidade era má, e nas obras 7 e 8 a qualidade dos provetes era muito má, sendo de acrescentar que, nas obras 1 e 3, os provetes apresentavam uma grande quantidade de vazios. Partindo do inquérito sobre a preparação e conservação de provetes, verificou-se que cinco dos Empreiteiros responderam que levam até 15 minutos, desde o fim da amassadura até ao início da moldagem dos provetes (obras 1, 3, 4, 7 e 8) e os outros cinco disseram que era imediato (obras 2, 5, 6, 9 e 10). O correcto seria fazê-lo de imediato. Na fase final da compactação, oito responderam que os moldes ficam sempre cheios e a superfície dos provetes lisa (obras 1, 2, 3, 4, 5, 6, 9 e 10). Dois responderam que isto só se verifica às vezes (obras 7 e 8). Neste caso, o correcto seria sempre. Quatro dos empreiteiros responderam que conservam os moldes ao ar livre (obras 1, 3, 7 e 8) e seis responderam que os guardam e cobrem com plástico (obras 2, 4, 5, 6, 9 e 10). O ideal seria guardá-los num local húmido e protegido do sol e das alterações e amplitudes de temperatura. Para desmoldar os provetes, oito esperaram até 3 dias (obras 1, 2, 3, 4, 5, 6, 9 e 10) e dois esperaram mais de 3 dias (obras 7 e 8). Depois de desmoldados, todos esperaram até 3 dias, antes de os enviarem para o laboratório. Depois de desmoldados, os provetes deveriam ir logo para laboratório, para aí serem conservados numa câmara húmida ou imersos em água.

No betão feito em obra, todos os empreiteiros disseram que nunca param a betoneira entre o seu carregamento e o seu esvaziamento total. Igualmente, para todos os empreiteiros, a saída das amassaduras da betoneira fez-se sempre com esta em rotação. Nunca se deve parar a betoneira, enquanto esta não estiver totalmente vazia. No caso do betão feito em obra, todos os empreiteiros disseram que nunca realizaram ensaios de abaixamento ou de resistência à compressão. Refira-se que este tipo de ensaios deve ser realizado uma vez por cada amassadura, aquando da sua recepção em obra. Igualmente, todos os empreiteiros disseram que rejeitam sempre o betão, se este, pela sua experiência, tiver má aparência, que é afinal a atitude correcta. Todos responderam que verificam sempre, antes de betonar, se as juntas e as cofragens estão limpas e as armaduras calçadas. Este é o procedimento correcto. Do mesmo modo, todos afirmaram ainda que a compactação se realiza sempre por vibração interna. Quando utilizam o vibrador, um diz que a agulha deste é mais comprida que a cofragem (obra 2) e o outro afirma que a agulha é da altura da cofragem (obra 5).

Quanto ao tempo de vibração utilizado, são unânimes ao dizer que a vibração continua até a superfície ficar lisa. O vibrador deve ser introduzido a meia altura da agulha, até a superfície ficar lisa, enchendo-se, para que tal aconteça, por camadas de betão, o elemento a betonar.

Em relação ao betão pronto, quatro dos empreiteiros disseram que realizam, às vezes, ensaios de abaixamento e quatro nunca realizaram. Um deles disse que realiza sempre ensaios de resistência à compressão (obra 3), três responderam que às vezes (obras 4, 7 e 8) e quatro nunca realizaram (obras 1, 6, 9 e 10). Um afirma que rejeita sempre o betão, se este, pela sua experiência, tiver má aparência (obra 3) e sete rejeitam às vezes (obras 1, 4, 6, 7, 8, 9 e 10). Neste aspecto, os empreiteiros mostraram-se mais exigentes quando o betão é feito em obra, talvez pela tradição de se sentirem mais à vontade com a produção de betão em central. Se o betão não passar no ensaio de abaixamento, todos os empreiteiros, que realizam este tipo de ensaios, dizem que rejeitam sempre. Caso os ensaios de resistência à compressão do betão não verifiquem os critérios impostos pela NP EN 206-1 [1], também todos eles disseram que a solução passa pelo projectista. Tal como no caso do betão feito em obra, quando da utilização de betão pronto, todos afirmam que verificam sempre, antes de betonar, se as juntas e as cofragens estão limpas e as armaduras calçadas. Todos atestam que a compactação é realizada sempre por vibração interna e que quando utilizam vibrador, quatro proferiram que a agulha deste é mais comprida que a cofragem (obras 3, 4, 7 e 8), enquanto que os outros quatro disseram que a agulha é da altura da cofragem (obras 1, 6, 9 e 10). Quanto ao tempo de vibração utilizado, todos são unânimes ao declarar que utilizam a vibração até a superfície ficar lisa. Diga-se aqui que em todas as questões colocadas para o betão pronto, coincidentes com as que se colocaram para o betão feito em obra, o tipo de atitude e solução a adoptar pelo empreiteiro deverá ser a mesma aí indicada. Conclui-se, perante as respostas dadas nos inquéritos, que existe ainda muita falta de formação nesta área da produção e controlo da conformidade do betão.

De acordo com a norma NP EN 206-1 [1], para todas as obras existem as seguintes combinações: 10 resultados (considerou-se, para este exercício, que um resultado de ensaio de uma amostra é composto por um resultado individual de ensaio; para ensaios de

identidade, a norma aconselha que um resultado de ensaio, deve ser a média de dois ou mais resultados individuais de ensaio); 45 combinações de 2 resultados; 120 combinações de 3 resultados; 210 combinações de 4 resultados; 252 combinações de 5 resultados; e, finalmente, 210 combinações de 6 resultados. Para as obras 2 e 5 foi fornecido betão sem certificação do controlo de produção e para as restantes obras foi fornecido betão com certificação do controlo de produção.

De acordo com a norma NP ENV 206 [2], para as obras 1, 2, 3, 5, 6, 7, 9 e 10, existem as seguintes combinações: 10 resultados (considerou-se, para este exercício, que um resultado de ensaio de uma amostra é composto por um resultado individual de ensaio); 120 combinações de 3 resultados; 210 combinações de 4 resultados; 252 combinações de 5 resultados; e, por fim, 210 combinações de 6 resultados. Nas obras 4 e 8 existem 210 combinações de 6 resultados. Isto porque, como já foi referido, as obras 4 e 8 são de classes de betão superior ou igual à C25/30.

Finalmente, e de acordo com as normas americanas ACI 318 [3] e ACI 214R-02 [4], em todas as obras utilizaram-se todos os 10 resultados ao mesmo tempo, uma vez que, segundo a norma, para se apurar a conformidade de um betão, é necessário que existam pelo menos 10 resultados para avaliar. Aqui, nestas normas, um resultado é igual à média de dois, três ou quatro resultados individuais de provetes cilíndricos. Neste estudo e de forma a podermos dar sequência, entrou-se com o valor de cada provete cúbico, como se de um resultado se tratasse. Como já referido, foi feito um estudo, segundo o método de CUSUM, a cada uma das obras, método este que nos permite aferir, com relativa antecedência, se os constituintes do betão estão a ser misturados nas quantidades certas, ou se é necessário alterá-las.

Foi ainda realizada em cada uma delas a extracção de três provetes cilíndricos, com a dimensão de 10 cm de diâmetro e de 20 cm de altura (ver Figura 4.4).



Figura 4.4 - Carotes cilíndricos

A carotagem foi feita a partir de uma peça de betão de base quadrada de $40 \times 40 \text{ cm}^2$, com 20 cm de altura (Figura 4.5). Mais uma vez é de realçar que esta peça foi betonada na altura da recolha dos provetes, tendo sido feita a sua cura no mesmo local e nas mesmas condições climatéricas do elemento estrutural betonado.



Figura 4.5 - Peça de betão com $40 \times 40 \times 20 \text{ cm}^3$

4.1.3 - Central de produção de betão

Em relação à central de produção de betão, fez-se a análise dos resultados, tomando, como referência, um período de produção, com base na NP EN 206-1 [1]. Nesta central de produção, certificada segundo a NP EN ISO 9001 [70], a avaliação e monitorização dos resultados é feita trimestralmente. A produção de betão é de 75 m³/dia. O plano de amostragem definido pela central de produção prevê retirar, pelo menos, três amostras de betão por semana, sendo cada uma delas composta pela média de resultados de três provetes. Os resultados apresentados, referentes à avaliação da resistência à compressão do betão, nesta central de produção, correspondem a um trimestre. Tratando-se de uma central de produção, isto indica que a produção é considerada contínua. A análise dos resultados é feita então para uma produção contínua, aplicando-se o critério família. Embora não aconteça na central de produção em questão, fez-se também a análise das classes de betão em separado, sem aplicação do critério família. Isto porque na central de betão existe um formulário onde, para cada classe de betão, é atribuído um código, ao qual corresponde uma quantidade específica de constituintes, incluindo possíveis adições e/ou adjuvantes. Este código é digitalizado no computador da central, encarregando-se esta, a partir daqui, de ir buscar as quantidades dos constituintes e de fazer a mistura. Daí que, nesta central de betão, sempre que haja algum problema com uma classe de betão, ou seja, sempre que uma classe de betão não verifique os critérios de conformidade da resistência à compressão, torna-se difícil descobrir, rapidamente, qual é que não se está a verificar, uma vez que a mistura dessa classe é analisada em conjunto com as outras. Pode acontecer, ainda, que todas as classes de betão verifiquem os critérios de conformidade, excepto uma, e, ao serem analisadas todas as classes ao mesmo tempo, aplicando o critério de família, essa situação pode não ser detectada durante algum tempo. Só irá ser detectada quando a não conformidade for suficientemente grave que afecte a conformidade das outras classes de betão. No entanto, esse problema consegue identificar-se, analisando todas as classes em separado. Resolveu-se, também, estudar, em paralelo, a aplicação aos resultados disponíveis dos critérios referentes à produção inicial.

Embora o plano de amostragem seja diferente, aplicaram-se neste estudo também as normas NP ENV 206 [2] e as americanas ACI 318 [3] e ACI 214R-02 [4]. Segundo a NP ENV 206 [2], seriam necessárias 6 amostras de betão por semana, por classe de betão. Mas, para classes de betão inferiores à C25/30, podiam colher-se 3 amostras de betão, por classe, por semana, ou seja, produzindo-se, nesta central, quase todos os dias e em volume significativo, três classes de betão diferentes, C16/20, C20/25 e C25/30, seria necessário recolher 12 amostras por semana: 3 amostras da classe C16/20, 3 amostras da classe C20/25 e 6 amostras da classe C25/30. No final de cada semana, dever-se-ia verificar a conformidade da resistência à compressão de cada classe de betão.

Para as normas americanas ACI 318 [3] e ACI 214R-02 [4], seria necessário uma amostra por classe de betão por dia, ou seja, como já se disse, produzindo-se, nesta central, quase todos os dias e em volume significativo três classes de betão diferentes, C16/20, C20/25 e C25/30, seria necessário recolher 15 amostras por semana: 5 amostras da classe C16/20, 5 amostras da classe C20/25 e 5 amostras da classe C25/30. Quando estivessem disponíveis, pelo menos, 10 resultados, poder-se-ia então avaliar a conformidade da resistência à compressão. Para que este estudo comparativo fosse possível ignorou-se, deste modo, o plano de amostragem, uma vez que a recolha de amostras de betão estava a ser feita para a aplicação da NP EN 206-1 [1].

Apesar de na central de produção a análise dos resultados, segundo a NP EN 206-1 [1], ser feita com todos os resultados de cada classe, no final de cada trimestre, optou-se, neste estudo, por acrescentar também uma avaliação feita de 15 em 15 resultados, conforme permitido pela norma. É que deste modo, consegue-se saber, mais cedo, qual a tendência da classe de betão em estudo. Aplicou-se o mesmo método para as normas ACI 318 [3] e ACI 214R-02 [4], uma vez que segundo a mesma, a avaliação da conformidade da resistência à compressão do betão é feita com pelo menos 10 resultados disponíveis. Fez-se ainda um estudo do betão, aplicando o método de CUSUM. Como já se disse, este método permite aferir, com relativa antecedência, se os constituintes do betão estão a ser misturados nas quantidades certas, ou se é necessário alterá-las. Existem três métodos de CUSUM: CUSUM M (é igual à diferença entre a ‘resistência estimada’ e a ‘resistência média alvo’),

CUSUM R (é igual à diferença entre a ‘variação de resultado para resultado para a resistência estimada’ e a ‘amplitude média alvo’) e CUSUM C (é igual à diferença entre a ‘resistência real’ obtida aos 28 dias e a ‘resistência estimada’). Para permitir esta análise, uma vez que não tínhamos resultados da resistência à compressão do betão numa idade precoce, por exemplo aos 2, 3 ou 7 dias, optou-se por considerar que o resultado real, obtido ao fim dos 28 dias, era o resultado estimado e previsível, resultado esse que seria calculado com base na resistência obtida na idade precoce. Deste modo, deixou de fazer sentido calcular o CUSUM C e calcularam-se os outros dois, CUSUM M e R.

4.1.4 - Exemplo dos cálculos efectuados

Por questões de simplicidade, para as três situações em estudo, Laboratório, Obra e Central, utilizaram-se folhas de cálculo, como ferramenta para esquematizar todo o estudo descrito, através de quadros que se apresentam em anexo. A seguir, são apresentados exemplos dos cálculos efectuados.

Relativamente a cada obra, procurou-se sempre estabelecer no final uma relação numérica entre a classe do betão exigida/ classe do betão obtida, que servirá de base, posteriormente, na análise dos resultados.

4.1.4.1 - Aplicação da norma NP ENV 206 [2]

Para 3 a 5 resultados:

- a) Cálculo da média das tensões de rotura à compressão dos 3 resultados:

$$f_{cm} = \frac{23,5 + 27,6 + 24,2}{3} = 25,1MPa$$

- b) O menor valor das tensões obtidas:

$$f_{cmin} = 23,5MPa$$

- c) O valor característico especificado:

$$f_{ck} = 25MPa$$

d) Verificar se cumpre as seguintes condições:

$$f_{cm} \geq f_{ck} + 5 \Leftrightarrow 25,1 \geq 25 + 5 \rightarrow (\text{n\~{a}o verifica})$$

$$f_{cmin} \geq f_{ck} - 1 \Leftrightarrow 23,5 \geq 25 - 1 \rightarrow (\text{n\~{a}o verifica})$$

e) Determinar a classe do betão:

$$25,1 \geq f_{ck} + 5 \Rightarrow f_{ck} \leq 20,1 \text{ MPa}$$

$$23,5 \geq f_{ck} - 1 \Rightarrow f_{ck} \leq 24,5 \text{ MPa}$$

-Sendo 20,1 MPa o menor valor \Rightarrow Classe do Betão Obtida: C16/20 \Rightarrow Não Verifica

Para 6 ou mais resultados:

a) Cálculo da média das tensões de rotura à compressão dos 6 resultados:

$$f_{cm} = \frac{39,0 + 41,1 + 41,1 + 38,7 + 37,4 + 39,7}{6} = 39,5 \text{ MPa}$$

b) O menor valor das tensões obtidas:

$$f_{cmin} = 37,4 \text{ MPa}$$

c) O valor característico especificado:

$$f_{ck} = 30 \text{ MPa}$$

d) Cálculo do desvio padrão:

$$s_n = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (f_{ci} - f_{cm})^2}{n-1}} =$$

$$= \sqrt{\frac{(39,0-39,5)^2 + (41,1-39,5)^2 + (41,1-39,5)^2 + (38,7-39,5)^2 + (37,4-39,5)^2 + (39,7-39,5)^2}{6-1}} = 1,45 \text{ MPa}$$

e) Retirar os valores λ e k do Quadro 3.4, em função do número de amostras:

$$\lambda = 1,87 \text{ e } k = 3$$

f) Verificar se cumpre as seguintes condições:

$$f_{cm} \geq f_{ck} + \lambda s_n \Leftrightarrow 39,5 \geq 30 + 1,87 \times 1,45 \rightarrow (\text{verifica})$$

$$f_{cmin} \geq f_{ck} - k \Leftrightarrow 37,4 \geq 30 - 3 \rightarrow (\text{verifica})$$

g) Determinar a classe do betão:

$$39,5 \geq f_{ck} + 1,87 \times 1,45 \Rightarrow f_{ck} \leq 36,79 \text{ MPa}$$

$$37,4 \geq f_{ck} - 3 \Rightarrow f_{ck} \leq 40,4 \text{ MPa}$$

-Sendo 36,79 MPa o menor valor \Rightarrow Classe do Betão Obtida: C29/36 \Rightarrow *Verifica*

4.1.4.2 - Tipo de cálculos efectuados para a norma NP EN 206-1 [1]

Exemplo para produção inicial - 3 resultados:

a) O valor das tensões obtidas:

$$f_{c1} = 29,65 \text{ MPa}$$

$$f_{c2} = 28,93 \text{ MPa}$$

$$f_{c3} = 29,08 \text{ MPa}$$

b) Cálculo da média das tensões de rotura à compressão dos 3 resultados:

$$f_{cm} = \frac{29,65 + 28,93 + 29,08}{3} = 29,22 \text{ MPa}$$

c) O valor característico especificado:

$$f_{ck} = 20 \text{ MPa}$$

d) Verificar se cumpre os seguintes critérios:

$$\text{Critério 2} \rightarrow f_{ci} \geq f_{ck} - 4 \Leftrightarrow f_{ci} \geq 20 - 4 \rightarrow (\text{verifica})$$

$$\text{Critério 1} \rightarrow f_{cm} \geq f_{ck} + 4 \Leftrightarrow 29,22 \geq 20 + 4 \rightarrow (\text{verifica})$$

e) Determinar a classe do betão:

$$28,93 \geq f_{ck} - 4 \Rightarrow f_{ck} \leq 32,93 \text{ MPa}$$

$$29,22 \geq f_{ck} + 4 \Rightarrow f_{ck} \leq 25,22 \text{ MPa}$$

-Sendo 25,22 MPa o menor valor \Rightarrow Classe do Betão Obtida: C20/25 \Rightarrow *Verifica*

Exemplo para produção contínua - 15 ou mais resultados:

a) O valor das tensões obtidas:

$$f_{c1} = 26,00 \text{ MPa}$$

$$f_{c2} = 25,50 \text{ MPa}$$

$$f_{c3} = 27,00 \text{ MPa}$$

$$f_{c4} = 28,20 \text{ MPa}$$

$$f_{c5} = 27,20MPa$$

$$f_{c6} = 24,80MPa$$

$$f_{c7} = 25,00MPa$$

$$f_{c8} = 25,90MPa$$

$$f_{c9} = 26,90MPa$$

$$f_{c10} = 26,60MPa$$

$$f_{c11} = 25,80MPa$$

$$f_{c12} = 26,20MPa$$

$$f_{c13} = 26,70MPa$$

$$f_{c14} = 26,00MPa$$

$$f_{c15} = 26,50MPa$$

b) Cálculo da média das tensões de rotura à compressão dos 15 resultados:

$$f_{cm} = \frac{26,00 + \dots + 26,50}{15} = 26,29MPa$$

c) O valor característico especificado:

$$f_{ck} = 25MPa$$

d) Cálculo do desvio padrão:

Neste ponto, uma vez que se trataria de uma produção contínua, teríamos que ter calculado o desvio padrão, a partir de, pelo menos, 35 resultados consecutivos:

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (f_{ci} - f_{cm})^2}{n-1}} = 0,91MPa$$

e) Verificar se cumpre os seguintes critérios:

$$\text{Critério 1} \rightarrow f_{cm} \geq f_{ck} + 1,48 \cdot \sigma \Leftrightarrow 26,29 \geq 25 + 1,48 \times 0,91 \rightarrow (\text{não verifica})$$

$$\text{Critério 2} \rightarrow f_{ci} \geq f_{ck} - 4 \Leftrightarrow f_{ci} \geq 25 - 4 \rightarrow (\text{verifica})$$

$$\text{Critério 3} \rightarrow f_{cm} \geq f_{ck} + 3 \Leftrightarrow 26,29 \geq 25 + 3 \rightarrow (\text{não verifica}) \Rightarrow \text{não pertencem à mesma família}$$

f) Determinar a classe do betão:

$$26,29 \geq f_{ck} + 1,48 \times 0,91 \Rightarrow f_{ck} \leq 24,94MPa$$

$$24,80 \geq f_{ck} - 4 \Rightarrow f_{ck} \leq 28,80MPa$$

-Sendo 24,94MPa o menor valor \Rightarrow Classe do Betão Obtida: C19/24 \Rightarrow Não *Verifica*

Exemplo para ensaios de identidade - 6 ou mais resultados:

a) O valor das tensões obtidas:

$$f_{c1} = 27,30MPa$$

$$f_{c2} = 28,00MPa$$

$$f_{c3} = 30,50MPa$$

$$f_{c4} = 27,20MPa$$

$$f_{c5} = 27,90MPa$$

$$f_{c6} = 28,50MPa$$

$$f_{c7} = 29,30MPa$$

$$f_{c8} = 30,00MPa$$

$$f_{c9} = 29,20MPa$$

$$f_{c10} = 28,50MPa$$

b) Cálculo da média das tensões de rotura à compressão dos 6 primeiros resultados:

$$f_{cm} = \frac{27,3 + 28,0 + 30,5 + 27,2 + 27,9 + 28,5}{6} = 28,2MPa$$

Cálculo da média das tensões de rotura à compressão dos 6 últimos resultados:

$$f_{cm} = \frac{27,9 + 28,5 + 29,3 + 30,0 + 29,2 + 28,5}{6} = 28,9MPa$$

Logo, a média mais baixa é $f_{cm,men} = 28,2MPa$

c) O valor característico especificado:

$$f_{ck} = 25MPa$$

d) Verificar se cumpre os seguintes critérios:

$$\text{Critério 1} \rightarrow f_{cm,men} \geq f_{ck} + 2 \Leftrightarrow 28,2 \geq 25 + 2 \rightarrow (\text{verifica})$$

$$\text{Critério 2} \rightarrow f_{ci} \geq f_{ck} - 4 \Leftrightarrow f_{ci} \geq 25 - 4 \rightarrow (\text{verifica})$$

e) Determinar a classe do betão:

$$28,2 \geq f_{ck} + 2 \Rightarrow f_{ck} \leq 26,2 \text{ MPa}$$

$$27,2 \geq f_{ck} - 4 \Rightarrow f_{ck} \leq 31,2 \text{ MPa}$$

-Sendo 26,2MPa o menor valor \Rightarrow Classe do Betão Obtida: C21/26 \Rightarrow Verifica

4.1.4.3 - Tipo de cálculos efectuados para as normas ACI 318 [3] e ACI 214R-02 [4]

Aplicaram-se também as normas americanas ACI 318 [3] e ACI 214R-02 [4], de forma a fazer-se uma possível comparação com a actual NP EN 206-1 [1] e a antiga NP ENV 206 [2], ao nível da verificação da conformidade da resistência à compressão dos betões. Estudaram-se ainda outras conclusões, decorrentes da aplicação das normas americanas aos betões. Embora fosse necessário planear, à partida, um número mínimo de resultados e estas normas se aplicassem a provetes cilíndricos, tomou-se a liberdade de também as aplicar. Consoante o planeamento do número de amostras de betão, a resistência média alvo, isto é, a resistência que se pretendia atingir, de modo a nunca se ficar abaixo do valor da resistência característica, seria afectada por um valor que seria tanto maior, quanto menor fosse o número de amostras. Desta forma, e devido ao facto do número e consequente resistência dos provetes extraídos, como amostra dos betões, ensaiados no laboratório, terem sido pensados para a norma NP ENV 206 [2], analisando esses resultados, segundo as normas americanas ACI 318 [3] e a ACI 214R-02 [4], muito raramente se verificaria a conformidade da resistência à compressão. Em dois casos de estudo, central de produção e obra, todo o processo foi pensado com vista à aplicação da norma NP EN 206-1 [1].

A resistência média alvo pode ser calculada aplicando-se três critérios diferentes. Conforme enunciado, consoante o planeamento do número de amostras de betão, a resistência média alvo, isto é, a resistência que se pretende atingir de modo a que o resultado da resistência à compressão obtida não fique abaixo do valor da resistência característica, seria afectada por um valor que seria tanto maior quanto menor fosse o número pretendido de amostras que ficasse abaixo da resistência característica. Em cada um dos critérios vai calcular-se uma resistência para que, no final, se verifique cada um dos objectivos a seguir apontados. Em

cada um dos critérios poder-se-á calcular a resistência estimada, através do método do desvio padrão (mais utilizado no caso de haver poucos resultados), ou através do método do coeficiente de variação (mais utilizado no caso de se tratar de resistências elevadas). No critério 1, o projectista especifica o número máximo de resultados que não verificam. No critério 2, o projectista especifica o número máximo admissível de ensaios consecutivos que não verificam. No critério 3, o projectista especifica a probabilidade de um resultado aleatório nunca ficar abaixo da resistência especificada. Ao aplicar os três métodos, em simultâneo, vai prevalecer, como resistência média alvo, aquela que vier a dar o valor mais elevado.

Como exemplo do cálculo da resistência média alvo, especificamos, para cada um dos critérios, o número de resultados mais utilizado. Assim, para o critério 1, especificamos 10%. Isto quer dizer que o número máximo de resultados que não atingem os valores da resistência característica não pode ser superior a 10%. Para o critério 2 especificamos 1%. Isto equivale a dizer que o número máximo de resultados consecutivos que não atingem os valores da resistência característica não pode ser superior a 1 em cada 100. Para o critério 3 especificamos 1%, o que significa que o número máximo de resultados aleatórios que não atingem os valores da resistência característica não pode ser superior a 1 em cada 100. A seguir, apresentam-se exemplos para o cálculo da resistência média alvo segundo os diferentes critérios para a Obra 1, relativa à recolha de provetes em obra.

Critério 1 ($\leq 10\%$)

Método do desvio padrão ($s_n = 0,71$ MPa)

$$f_{ck} + z s_n = 25 + 1,28 \times 0,71 = 25,9 \text{ MPa}$$

Método do coeficiente de variação ($V = 4\%$)

$$f_{ck} / (1 - (z V / 100)) = 25 / (1 - (1,28 \times 4 / 100)) = 26,3 \text{ MPa}$$

Critério 2 ($\leq 1\%$)

Método do desvio padrão ($s_n = 0,71$ MPa)

$$f_{ck} + (z s_n) / \sqrt{n} = 25 + (2,33 \times 0,71) / \sqrt{3} = 25,9 \text{ MPa}$$

Método do coeficiente de variação ($V = 4\%$)

$$f_{ck} / (1 - (z \cdot V / 100 / \sqrt{n})) = 25 / (1 - (2,33 \times 4 / 100 / \sqrt{3})) = 26,4 \text{ MPa}$$

Critério 3 ($\leq 1\%$)

Método do desvio padrão ($s_n = 0,71 \text{ MPa}$)

$$(f_{ck} - 3,5) + z \cdot s_n = (25 - 3,5) + 2,33 \times 0,71 = 23,1 \text{ MPa}$$

Método do coeficiente de variação ($CV = 4\%$)

$$(f_{ck} - 3,5) / (1 - z \cdot V) = (25 - 3,5) / (1 - 2,33 \times 4 / 100) = 23,7 \text{ MPa}$$

Para aceitação do nível de resistência, a média de 3 amostras (uma amostra corresponde a pelo menos dois cilindros) consecutivas deve ser igual ou superior à resistência média alvo. A média deverá sempre exceder o valor da resistência característica. Para serem consideradas misturas semelhantes, os resultados terão que cair num intervalo nunca superior a 6,9 MPa. Se algum requisito não for preenchido, devem ser tomadas medidas para aumentar a média da resistência obtida. Por cada 15 ensaios, deve estabelecer-se uma nova meta para a resistência média. Abaixo de 15 resultados, a resistência pretendida é muito elevada. Entre os 15 e 30 resultados, no cálculo da resistência pretendida, o desvio padrão é afectado por uma constante. A partir dos 30 resultados, torna-se mais fácil conseguir atingir a resistência pretendida. Os provetes curados em obra têm que dar, pelo menos, uma resistência superior ou igual a 0,85 vezes a resistência dos provetes curados em laboratório. Se isto não se verificar, torna-se necessário melhorar os procedimentos de cura em obra. Se algum resultado das amostras curadas em laboratório cair abaixo da resistência característica, é necessário extrair 3 carotes por cada amostra. A média das 3 carotes terá que ser superior ou igual a 0,85 vezes a resistência característica e nenhuma delas deve ter uma resistência inferior a 0,75 vezes a tensão característica.

Como frequência da amostragem, deverá ser retirada uma amostra (pelo menos dois cilindros), uma vez em cada dia, por cada classe. Além disso, a amostragem deverá ser repetida por cada 115 m³ e/ou 460 m² de betonagem. Se a betonagem for inferior a 40 m³, não é exigido o ensaio de resistência à compressão.

Exemplo:

a) O valor característico especificado:

$$f_{ck} = 25MPa$$

b) Cálculo do desvio padrão:

Neste ponto utilizar-se-ia o desvio padrão dado pelo histórico da anterior recolha de pelo menos 15 resultados. Partimos do princípio de que este desvio padrão foi obtido a partir de um histórico de 30 resultados.

$$s_n = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (f_{ci} - f_{cm})^2}{n-1}} = 1,10MPa$$

c) O valor das tensões obtidas:

$$f_{c1} = 27,30MPa$$

$$f_{c2} = 28,00MPa$$

$$f_{c3} = 30,50MPa$$

$$f_{c4} = 27,20MPa$$

$$f_{c5} = 27,90MPa$$

$$f_{c6} = 28,50MPa$$

$$f_{c7} = 29,30MPa$$

$$f_{c8} = 30,00MPa$$

$$f_{c9} = 29,20MPa$$

$$f_{c10} = 28,50MPa$$

d) Verificar se a resistência dos resultados individuais é considerada satisfatória. Caso não seja considerada satisfatória, poder-se-á ter que recorrer à carotagem. Assim, terão que se verificar as seguintes duas condições, d.1) e d.2):

d.1) Qualquer média de três resultados consecutivos, iguala ou ultrapassa o valor da resistência característica:

$$\text{Condição} \rightarrow MA3 \geq f_{ck} \Leftrightarrow \frac{27,20 + 27,90 + 28,50}{3} = 27,87 MPa \geq f_{ck} \rightarrow (\text{verifica})$$

d.2) Nenhum resultado fica abaixo da resistência característica (f_c) em 3,5 MPa, quando a resistência característica é menor ou igual a 34,5 MPa, ou nenhum resultado fica abaixo da resistência característica em $0,10 \cdot f_c$, quando a resistência característica é maior que 34,5 MPa:

$$\text{Condição} \rightarrow f_{ci} \geq f_{ck} - 3,50 \Leftrightarrow 27,20 + 3,50 = 30,70 \geq f_{ck} \quad \text{se} \quad f_{ck} \leq 34,5 \text{MPa}$$

\rightarrow (verifica)

ou

$$\text{Condição} \rightarrow f_{ci} \geq f_{ck} - 0,10 \cdot f_{ck} \quad \text{se} \quad f_{ck} > 34,5 \text{MPa}$$

e) Cálculo da média das tensões de rotura à compressão dos 10 resultados:

$$f_{cm} = \frac{27,30 + \dots + 28,50}{10} = 28,64 \text{MPa}$$

f) Cálculo da resistência pretendida:

Neste exemplo, visto que damos como adquirido que o responsável pela obra pretende que, não mais do que um em cada dez resultados não verifique a condição da conformidade da resistência à compressão do betão, o valor correspondente é $z = 1,28$.

$$f_{cr} = f_{ck} + z s_n \Leftrightarrow f_{cr} = 25 + 1,28 \times 1,10 = 26,41 \text{MPa}$$

g) Verificar se cumpre a condição:

$$\text{Condição} \rightarrow f_{cm} \geq f_{cr} \Leftrightarrow 28,64 \text{MPa} \geq 26,41 \text{MPa} \rightarrow \text{(verifica)}$$

h) Determinar a classe do betão:

$$28,64 \geq f_{ck} + 1,28 \times 1,10 \Rightarrow f_{ck} \leq 27,23 \text{MPa}$$

- Classe do Betão Obtida: C22/27 \Rightarrow Verifica

4.1.4.4 - Tipo de cálculos efectuados para a carotagem com a norma NP EN 13791 [67]

Exemplo:

a) O valor das tensões obtidas:

$$f_{c1} = 24,17 \text{MPa}$$

$$f_{c2} = 22,14 \text{MPa}$$

$$f_{c3} = 23,00 \text{MPa}$$

b) Cálculo da média das tensões de rotura à compressão dos 3 resultados:

$$f_{cm} = \frac{24,17 + 22,14 + 23,00}{3} = 23,10 \text{ MPa}$$

c) O valor característico especificado:

$$f_{ck, is} = 17 \text{ MPa}$$

d) Verificar se cumpre as seguintes condições:

$$\text{Condição 1} \rightarrow f_{cm} \geq f_{ck} + k \Leftrightarrow 23,10 \geq 17 + 7 \rightarrow (\text{não verifica})$$

$$\text{Condição 2} \rightarrow f_{ci} \geq f_{ck} - 4 \Leftrightarrow f_{ci} \geq 17 - 4 \rightarrow (\text{verifica})$$

e) Determinar a resistência “in situ” característica do betão:

$$f_{ck, is} = f_{cm} - 7 \Rightarrow f_{ck, is} = 16,10 \text{ MPa}$$

$$f_{ck, is} = f_{cmenor} + 4 \Rightarrow f_{ck, is} = 26,14 \text{ MPa}$$

- Resistência “in situ” característica do betão obtida é 16,10 MPa \Rightarrow

$$\Rightarrow f_{\alpha} = 16,10 / 0,85 = 18,94 \text{ MPa} \Rightarrow$$

\Rightarrow Classe de resistência à compressão do betão obtida: C18/23

4.1.4.5 - Tipo de cálculos efectuados para a carotagem com a norma ASTM C42 [61]

Exemplo:

a) O valor das tensões obtidas:

$$f_{c1} = 24,17 \text{ MPa}$$

$$f_{c2} = 22,14 \text{ MPa}$$

$$f_{c3} = 23,00 \text{ MPa}$$

b) Cálculo da média das tensões de rotura à compressão dos 3 resultados:

$$f_{cm} = \frac{24,17 + 22,14 + 23,00}{3} = 23,10 \text{ MPa}$$

c) O valor característico especificado:

$$f_{ck} = 20 \text{ MPa}$$

d) Verificar se cumpre a seguinte condição:

$$\text{Condição 1} \rightarrow f_{cm} \geq 0,85 f_{ck} \Leftrightarrow 23,10 \geq 0,85 \times 20 \rightarrow (\text{verifica})$$

$$\text{Condição 2} \rightarrow f_{ci} \geq 0,75 f_{ck} \Leftrightarrow 22,14 \geq 0,75 \times 20 \rightarrow (\text{verifica})$$

4.2 - Apresentação de Resultados

4.2.1 - Laboratório - Controlo da conformidade dos betões ensaiados entre os anos 1998 e 2008

4.2.1.1 - Análise por obra, de 1998 a 2008

Foram analisados um total de 524 volumes de betão, dos quais 82 são de betão do tipo C16/20, 369 do tipo C20/25, 59 do tipo C25/30, 2 são do tipo C30/37 e 12 do tipo C35/45. A partir do Quadro 4.1, podemos observar que a percentagem de lotes em não conformidade é menor para os tipos de betão com tensão característica mais elevada, excepto o caso da classe C35/45. No entanto, o baixo número de lotes ensaiado para a classe C35/45, a juntar ao facto de serem todos da mesma obra, não nos permite tirar uma conclusão.

Quadro 4.1 - Volumes de betão em não conformidade para diferentes classes, segundo a NP ENV 206 e a NP EN 206-1

Tipo de Betão	Total de volumes de betão	NP ENV 206		NP EN 206-1	
		Volume de betão não conforme		Volume de betão não conforme	
		Número	%	Número	%
C16/20	82	48	59	34	41
C20/25	369	206	56	160	43
C25/30	59	21	36	20	34
C30/37	2	0	0	0	0
C35/45	12	9	75	8	67

A análise apresentada é importante, mas também é necessário ter uma informação quantitativa. Noutras palavras, não basta saber se um volume de betão está conforme ou não, mas a que distância está do exigido. Neste sentido, realizou-se uma análise estatística dos resultados.

Em relação ao ano 1998, verificou-se que, num universo de doze obras, nas quais se analisaram vinte e seis volumes de betão, o número de lotes, em que a classe do betão obtida é superior ou igual à exigida, corresponde a 62 % de resultados e 38 % não verificam os critérios. Aplicando a NP EN 206-1 [1], também para o ano de 1998, o resultado é igual. A única diferença reside na distância a que se encontram do exigido os resultados que não verificam os devidos critérios. Assim, aplicando a NP ENV 206 [2], existem 19 % de resultados que não verificam, a uma distância inferior a 5 MPa e os outros 19 % que não verificam estão a uma distância entre os 5 MPa e os 10 MPa (Figura 4.6). Ao passo que, aplicando a NP EN 206-1 [1], existem 27 % de resultados que não verificam, a uma distância inferior a 5 MPa e 11 % que não verificam, a uma distância entre os 5 MPa e os 10 MPa (Figura 4.7).

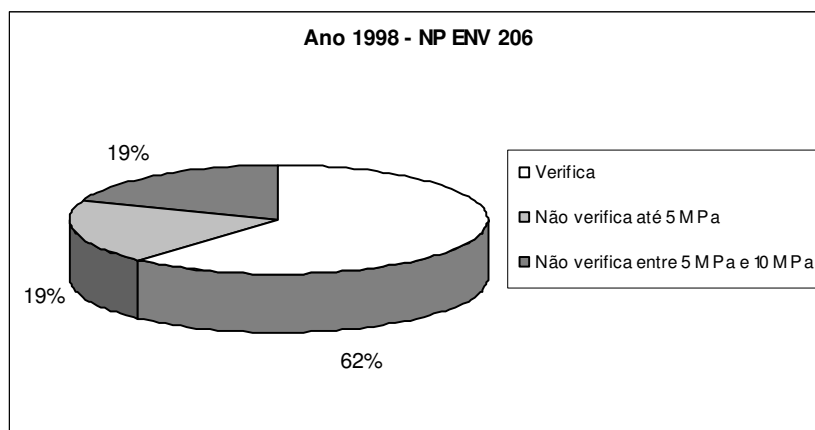


Figura 4.6 - Relação classe do Betão Obtida/ Exigida no ano 1998, com a NP ENV 206

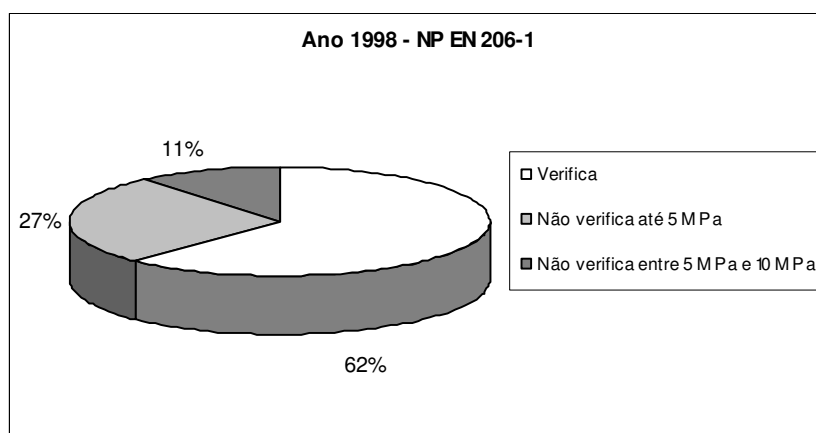


Figura 4.7 - Relação classe do Betão Obtida/ Exigida no ano 1998, com a NP EN 206-1

No ano 1999, verificou-se que, num universo de catorze obras nas quais se analisaram trinta e seis volumes de betão, o número de lotes de betão, em que a classe do betão obtida é superior ou igual à exigida, corresponde a 78 % de resultados e 22 % não verificam os critérios. Aplicando a NP EN 206-1 [1], também para o ano de 1999, e comparando os resultados entre as duas normas, verificamos, desta vez, que o número de resultados que verificam os critérios de conformidade da resistência à compressão é superior, com 89 % de resultados que verificam e 11 % em que não se verificam os critérios. Assim, aplicando a NP ENV 206 [2], existem 19 % de resultados que não verificam, a uma distância inferior a 5 MPa e 3 % que não verificam e que estão a uma distância entre os 5 MPa e os 10 MPa (Figura 4.8). Ao passo que, aplicando a NP EN 206-1 [1], existem 8 % de resultados que não verificam a uma distância inferior a 5 MPa e 3 % que não verificam os critérios, a uma distância entre os 5 MPa e os 10 MPa (Figura 4.9).

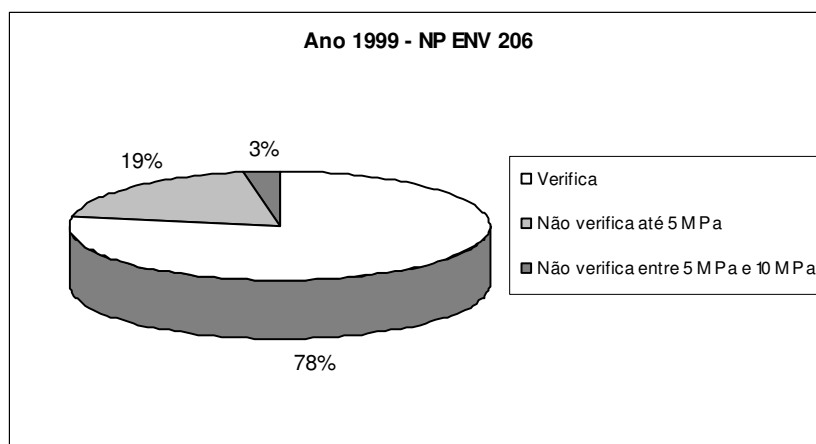


Figura 4.8 - Relação classe do Betão Obtida/ Exigida no ano 1999, com a NP ENV 206

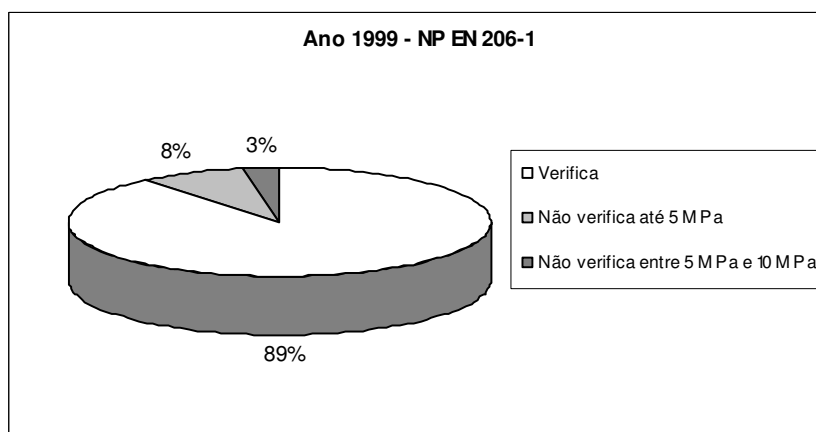


Figura 4.9 - Relação classe do Betão Obtida/ Exigida no ano 1999, com a NP EN 206-1

No ano 2000, verificou-se que, num universo de doze obras nas quais se analisaram vinte e um volumes de betão, o número de lotes, em que a classe do betão obtida é superior ou igual à exigida, corresponde a 38 % de resultados e 62 % não verificam os critérios. Aplicando a NP EN 206-1 [1], também para o ano de 2000, e comparando os resultados entre as duas normas, verificamos, outra vez, que o número de resultados que verificam os critérios de conformidade da resistência à compressão é inferior, com 43 % de resultados que verificam e 57 % em que não se verificam os critérios. Assim, aplicando a NP ENV 206 [2], existem 33 % de resultados que não verificam, a uma distância inferior a 5 MPa, 19 % que não verificam e que estão a uma distância entre os 5 MPa e os 10 MPa e 10 % dos que não verificam estão a uma distância superior a 10 MPa (Figura 4.10). Ao passo que

aplicando a NP EN 206-1 [1], existem 38 % de resultado que não verificam a uma distância inferior a 5 MPa, 10 % que não verificam, estão a uma distância entre os 5 MPa e os 10 MPa e 9 % dos que não verificam, estão a uma distância superior a 10 MPa (Figura 4.11).

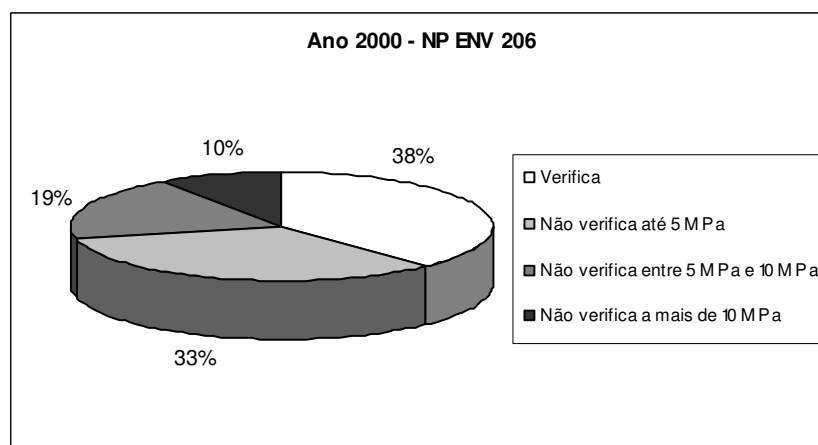


Figura 4.10 - Relação classe do Betão Obtida/ Exigida no ano 2000, com a NP ENV 206

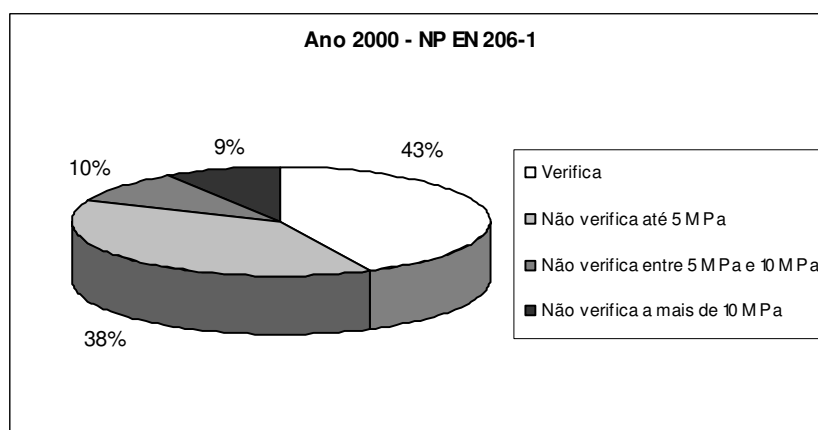


Figura 4.11 - Relação classe do Betão Obtida/ Exigida no ano 2000, com a NP EN 206-1

No ano 2001, verificou-se que, num universo de nove obras nas quais se analisaram dezasseis volumes de betão, o número de lotes, em que a classe do betão obtida é superior ou igual à exigida, é maior, com 56 % de resultados que verificam e 44 % em que não se verificam os critérios. Aplicando a NP EN 206-1 [1], também para o ano de 2001, e comparando os resultados entre as duas normas, verificamos, desta vez, que o número de

resultados que verificam os critérios de conformidade da resistência à compressão é superior, com 62 % de resultados que verificam e 38 % em que não se verificam os critérios. Assim, aplicando a NP ENV 206 [2], existem 19 % de resultados que não verificam, a uma distância inferior a 5 MPa e 25 % que não verificam estão a uma distância entre os 5 MPa e os 10 MPa (Figura 4.12). Aplicando a NP EN 206-1 [1], existem 38 % de resultados que não verificam, a uma distância inferior a 5 MPa (Figura 4.13).

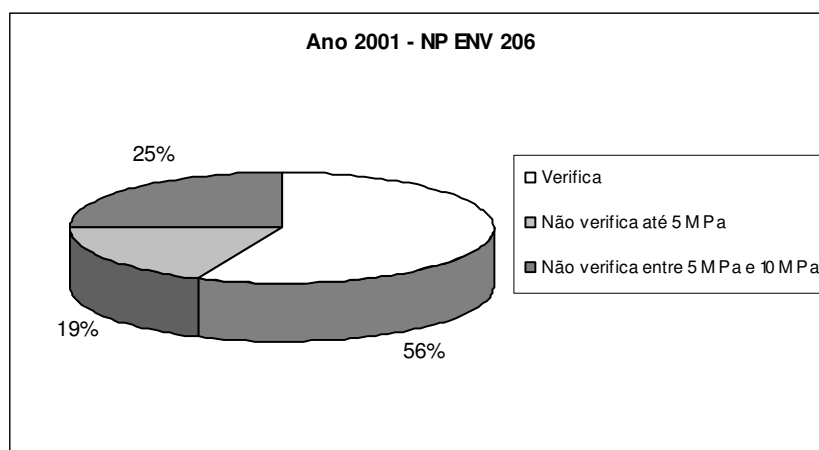


Figura 4.12 - Relação classe do Betão Obtida/ Exigida no ano 2001, com a NP ENV 206

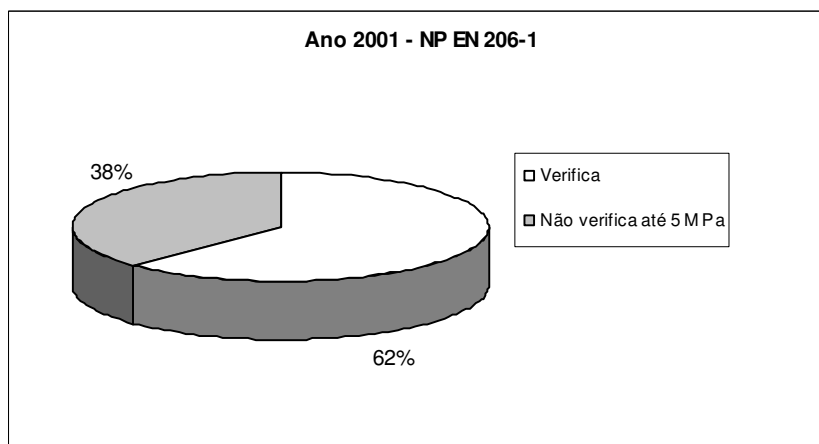


Figura 4.13 - Relação classe do Betão Obtida/ Exigida no ano 2001, com a NP EN 206-1

No ano 2002, verificou-se que, num universo de oito obras nas quais se analisaram vinte e cinco volumes de betão, o número de lotes, em que a classe do betão obtida é superior ou igual à exigida, é menor, com 40 % de resultados que verificam e 60 % em que não se verificam os critérios. Aplicando a NP EN 206-1 [1], também para o ano de 2002, o número de volumes de betão, em que a classe de betão obtida é superior ou igual à exigida, é menor, mas agora com 44 % de resultados que verificam e 56 % que não. Passando a aplicar a NP ENV 206 [2], existem 28 % de resultados que não verificam, a uma distância inferior a 5 MPa, 4 % de resultados que não verificam, a uma distância entre os 5 MPa e os 10 MPa e 28 % de resultados que não verificam, a uma distância superior a 10 MPa (Figura 4.14). Ao passo que, aplicando a NP EN 206-1 [1], existem 28 % de resultados que não verificam a uma distância inferior a 5 MPa, 8 % de resultados que não verificam a uma distância entre os 5 MPa e os 10 MPa e 20 % de resultados que não verificam os referidos critérios, a uma distância superior a 10 MPa (Figura 4.15).

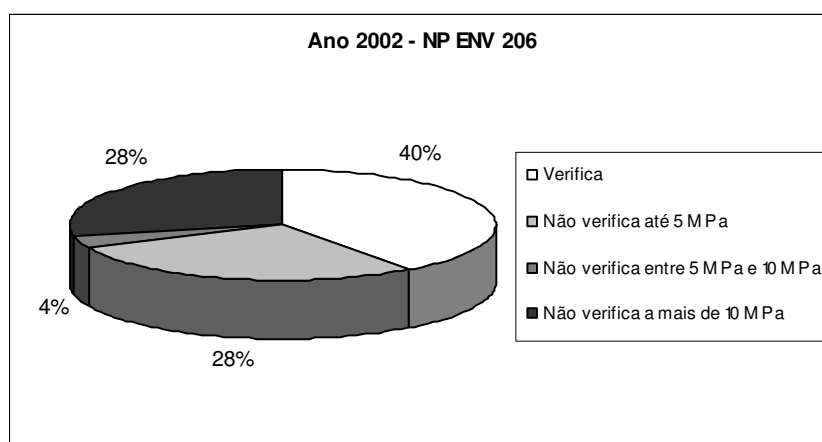


Figura 4.14 - Relação classe do Betão Obtida/ Exigida no ano 2002, com a NP ENV 206

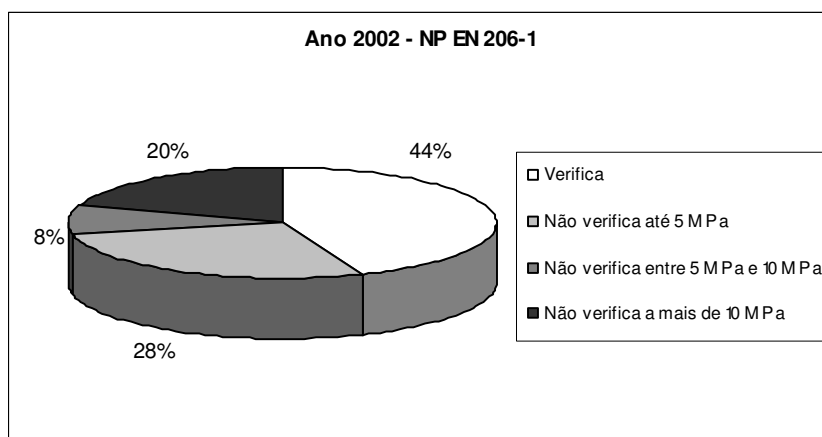


Figura 4.15 - Relação classe do Betão Obtida/ Exigida no ano 2002, com a NP EN 206-1

No ano 2003, verificou-se que, num universo de oito obras nas quais se analisaram vinte e três volumes de betão, o número de lotes, em que a classe do betão obtida é superior ou igual à exigida, é menor na NP ENV 206 [2], com 43 % dos resultados que verificam e maior na NP EN 206-1 [1], com 52 % dos resultados que verificam. Ao aplicar a NP ENV 206 [2], verifica-se que existem 27 % de resultados que não verificam a uma distância inferior a 5 MPa, 26 % de resultados que não verificam, a uma distância entre os 5 MPa e os 10 MPa e 4 % de resultados que não verificam, a uma distância superior a 10 MPa (Figura 4.16). Ao passo que, aplicando a NP EN 206-1 [1], existem 18 % de resultados que não verificam, a uma distância inferior a 5 MPa e 30 % de resultados que não verificam, a uma distância entre os 5 MPa e os 10 MPa (Figura 4.17).

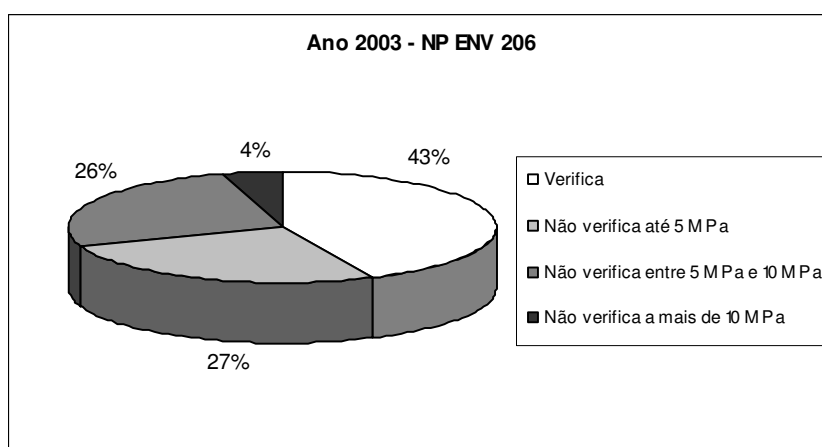


Figura 4.16 - Relação classe do Betão Obtida/ Exigida no ano 2003, com a NP ENV 206

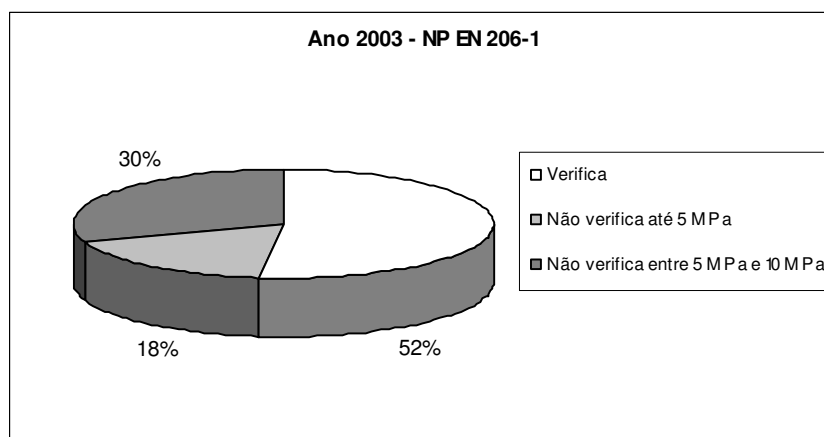


Figura 4.17 - Relação classe do Betão Obtida/ Exigida no ano 2003, com a NP EN 206-1

No ano 2004, verificou-se que, num universo de sete obras nas quais se analisaram dezoito volumes de betão, o número de lotes, em que a classe do betão obtida é superior ou igual à exigida, é menor, com 22 % de resultados que verificam e 78 % em que não se verificam os critérios. Aplicando a NP EN 206-1 [1], também para o ano de 2004, o resultado é mais uma vez parecido, com 28 % dos resultados a verificarem e 72 % a não verificarem. Assim, aplicando a NP ENV 206 [2], existem 39 % de resultados que não verificam, a uma distância inferior a 5 MPa e os outros 39% que não verificam estão a uma distância entre os 5 MPa e os 10 MPa (Figura 4.18). Passando a aplicar a NP EN 206-1 [1], existem 44 % de resultados que não verificam, a uma distância inferior a 5 MPa e 28 % que não verificam, a uma distância entre os 5 MPa e os 10 MPa (Figura 4.19).

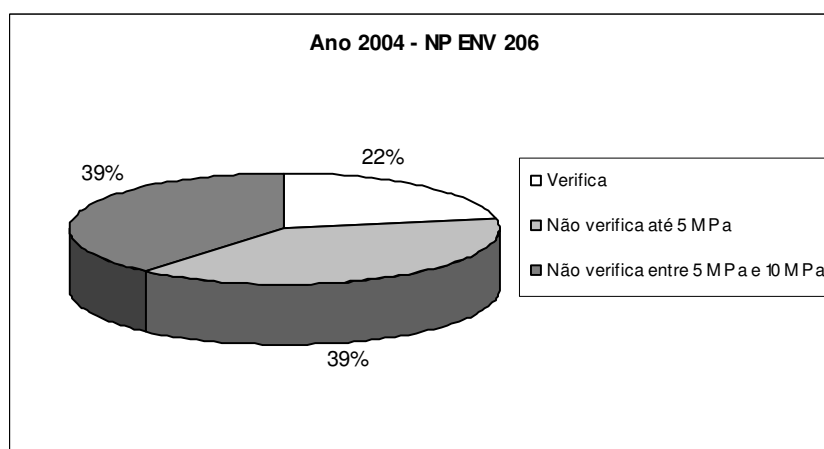


Figura 4.18 - Relação classe do Betão Obtida/ Exigida no ano 2004, com a NP ENV 206

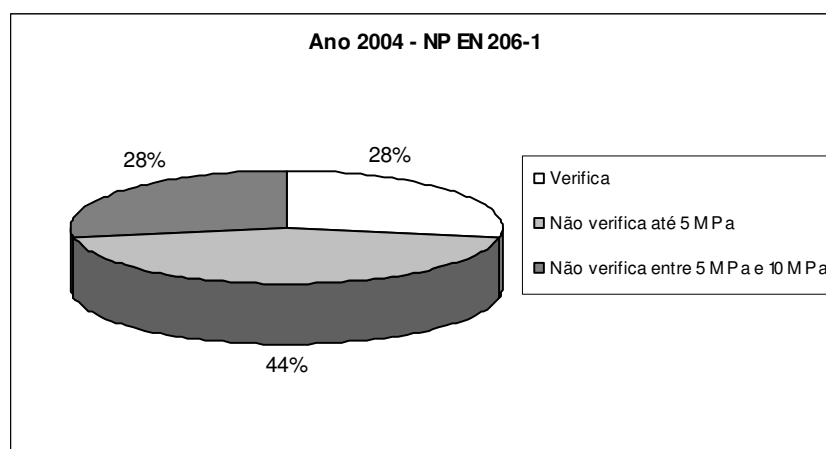


Figura 4.19 - Relação classe do Betão Obtida/ Exigida no ano 2004, com a NP EN 206-1

No ano 2005, verificou-se que, num universo de vinte e três obras nas quais se analisaram cento e quatro volumes de betão, o número de lotes, em que a classe do betão obtida é superior ou igual à exigida, é menor, aplicando a norma NP ENV 206, com 38 % dos resultados a verificarem os critérios. Ao aplicar a NP EN 206-1 [1], o número de volumes de betão, em que a classe do betão obtida é superior ou igual à exigida, é maior, com 51 % de resultados a verificarem e 49 % em que não se verificaram os critérios. Aplicando a NP ENV 206 [2], existem 42 % de resultados que não verificam, a uma distância inferior a 5 MPa, 14 % que não verificam estão a uma distância entre os 5 MPa e os 10 MPa e 6 % estão a uma distância superior a 10 MPa (Figura 4.20). Ao passo que, aplicando a NP EN 206-1 [1], existem 35 % de resultados que não verificam, a uma distância inferior a 5 MPa, 12 % que não verificam, a uma distância entre os 5 MPa e os 10 MPa e 2 % estão a uma distância superior a 10 MPa (Figura 4.21).

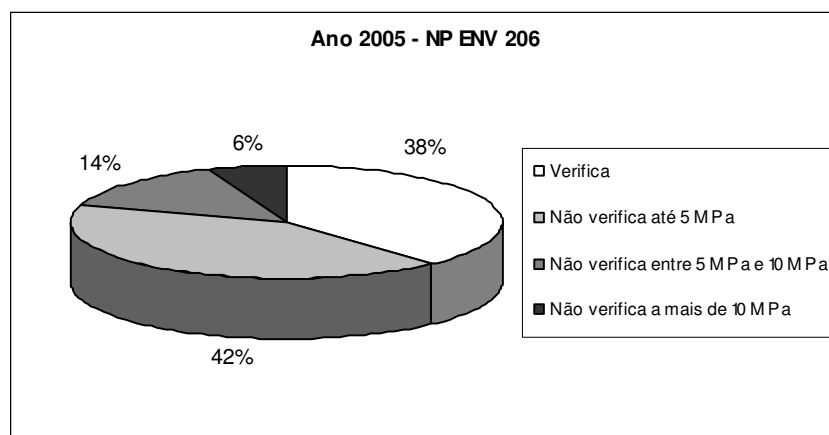


Figura 4.20 - Relação classe do Betão Obtida/ Exigida no ano 2005, com a NP ENV 206

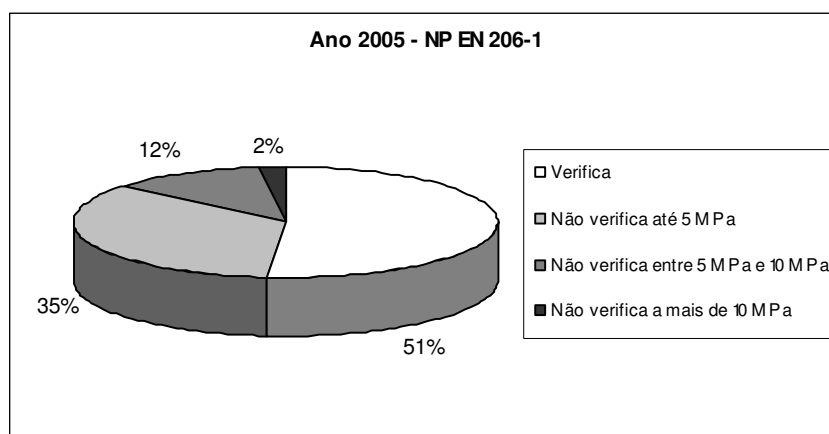


Figura 4.21 - Relação classe do Betão Obtida/ Exigida no ano 2005, com a NP EN 206-1

No ano 2006, verificou-se com a NP ENV 206 [2] que, num universo de vinte e nove obras nas quais se analisaram oitenta volumes de betão, o número de lotes, em que a classe do betão obtida é superior ou igual à exigida, é menor, com 41 % de resultados que verificam e 59 % em que não se verificam os critérios. Aplicando a NP EN 206-1 [1], também para o ano de 2006, o resultado é diferente, com 56 % dos resultados a verificarem e 44 % não. Assim, aplicando a NP ENV 206 [2], existem 41 % de resultados que não verificam, a uma distância inferior a 5 MPa e os outros 18 % que não verificam estão a uma distância entre os 5 MPa e os 10 MPa (Figura 4.22). Aplicando a NP EN 206-1 [1], existem 31 % de resultados que não verificam, a uma distância inferior a 5 MPa e 13 % que não verificam, a uma distância entre os 5 MPa e os 10 MPa (Figura 4.23).

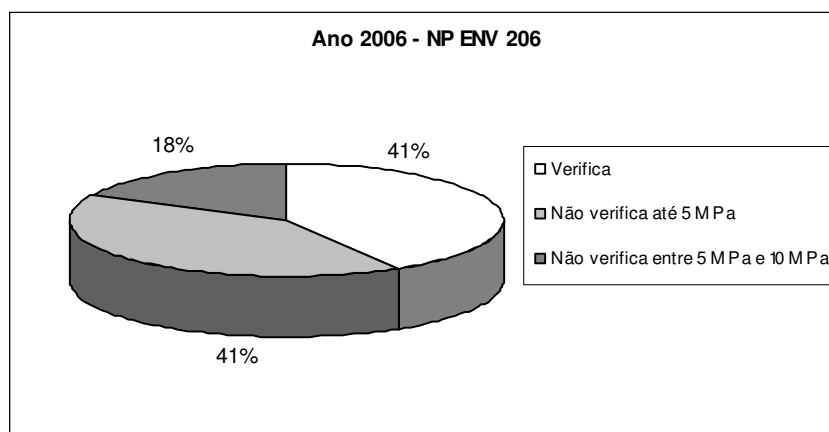


Figura 4.22 - Relação classe do Betão Obtida/ Exigida no ano 2006, com a NP ENV 206

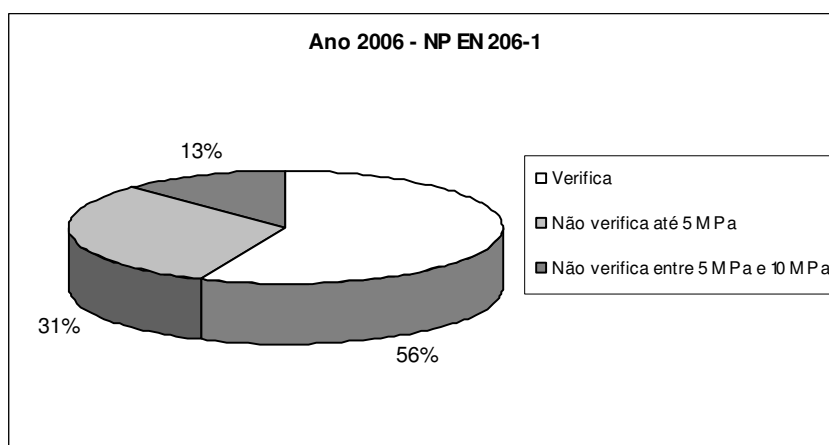


Figura 4.23 - Relação classe do Betão Obtida/ Exigida no ano 2006, com a NP EN 206-1

No ano 2007, verificou-se que, num universo de vinte e três obras nas quais se analisaram cento e vinte e dois volumes de betão, o número de lotes, em que a classe do betão obtida é superior ou igual à exigida, é menor, com 45 % de resultados que verificam e 55 % em que não se verificam os critérios. Aplicando a NP EN 206-1 [1], também para o ano de 2007, o resultado é diferente, sendo superior o número de volumes de betão, em que a classe do betão obtida é maior ou igual ao exigido, com 63 % de resultados que verificam e 37 % em que não se verificam os critérios. Assim, aplicando a NP ENV 206 [2], existem 36 % de resultado que não verificam, a uma distância inferior a 5 MPa, 15 % dos resultados que não verificam estão a uma distância entre os 5 MPa e os 10 MPa e 4 % estão a uma distância superior a 10 MPa (Figura 4.24). Aplicando a NP EN 206-1 [1], existem 25 % de resultados que não verificam, a uma distância inferior a 5, 11 % dos resultados que não verificam

estão a uma distância entre os 5 MPa e os 10 MPa e apenas 1 % estão a uma distância superior a 10 MPa (Figura 4.25).

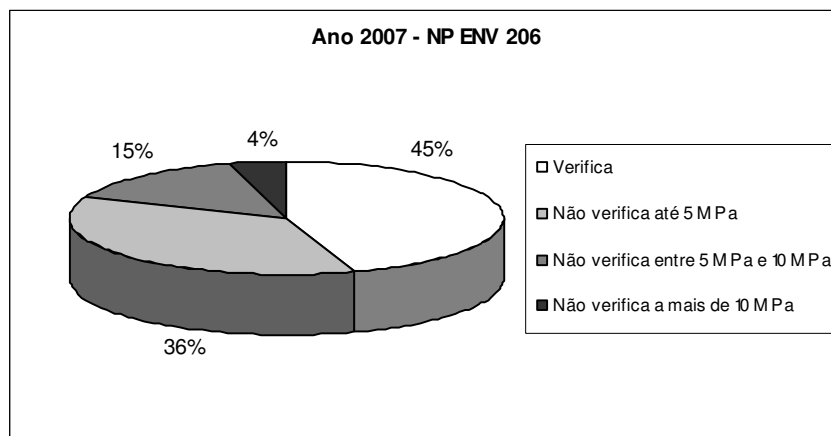


Figura 4.24 - Relação classe do Betão Obtida/ Exigida no ano 2007, com a NP ENV 206

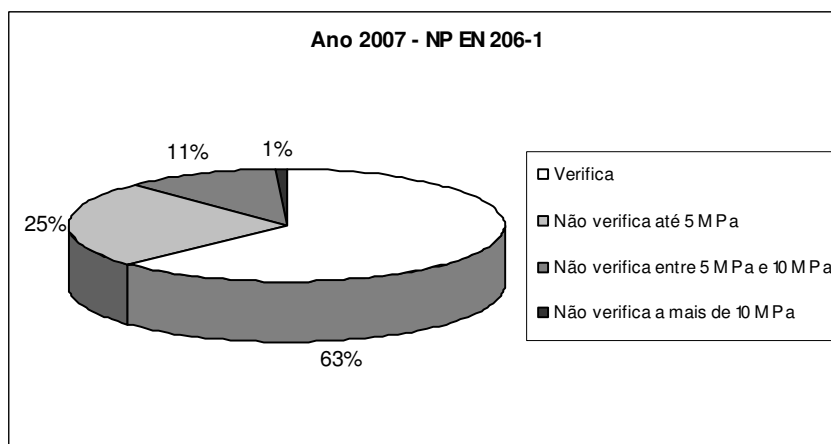


Figura 4.25 - Relação classe do Betão Obtida/ Exigida no ano 2007, com a NP EN 206-1

Finalmente, no ano 2008, verificou-se que, num universo de catorze obras nas quais se analisaram cinquenta e três volumes de betão, o número de lotes, em que a classe do betão obtida é superior ou igual à exigida, é ligeiramente maior, com 51 % de resultados que verificam e 49 % em que não se verificam os critérios. Aplicando a NP EN 206-1 [1] também para o ano de 2008, conclui-se que 60 % de resultados verificam e 40 % em que não se verificam os critérios. Assim, aplicando a NP ENV 206 [2], existem 15 % de resultados que não verificam, a uma distância inferior a 5 MPa, 25 % que não verificam

estão a uma distância entre os 5 MPa e os 10 MPa e 9 % dos resultados estão a uma distância superior a 10 MPa (Figura 4.26). Ao passo que, aplicando a NP EN 206-1 [1], existem 17 % de resultados que não verificam, a uma distância inferior a 5 MPa, 21 % que não verificam, estão a uma distância entre os 5 MPa e os 10 MPa e 2 % dos resultados estão a uma distância superior a 10 MPa (Figura 4.27).

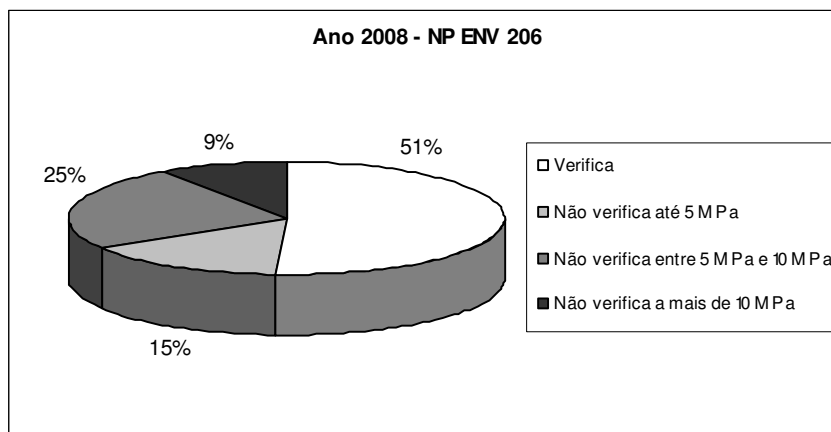


Figura 4.26 - Relação classe do Betão Obtida/ Exigida no ano 2008, com a NP ENV 206

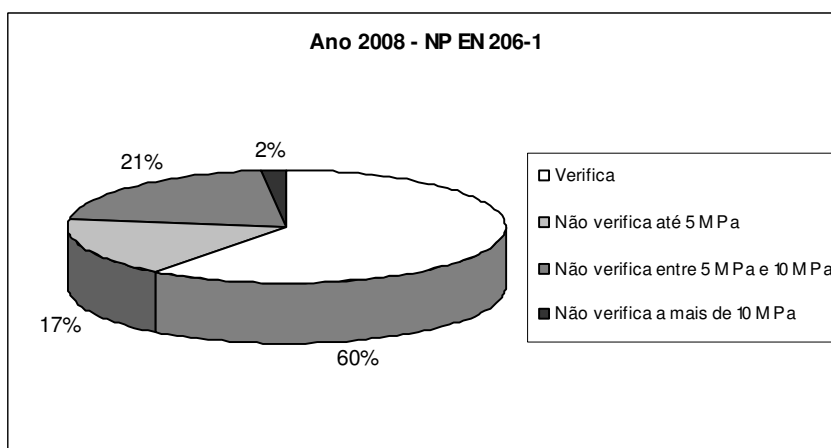


Figura 4.27 - Relação classe do Betão Obtida/ Exigida no ano 2008, com a NP EN 206-1

Fazendo uma análise global ao intervalo de anos entre 1998 e 2008, verifica-se que, num universo de cento e cinquenta e nove obras, nas quais se analisaram quinhentos e vinte e quatro volumes de betão, que o número de lotes, em que a classe do betão obtida é superior ou igual à exigida, é inferior ao aplicar a norma NP ENV 206 [2], com 46 % de resultados

que verificam e 54 % em que não se observam os critérios. Aplicando a NP EN 206-1 [1], também para este intervalo de anos, 58 % de resultados que verificam e 42 % em que não se verificam os critérios. Assim, aplicando a NP ENV 206 [2], existem 32 % de resultados que não verificam, a uma distância inferior a 5 MPa, 17 % que não verificam estão a uma distância entre os 5 MPa e os 10 MPa e 5 % dos resultados estão a uma distância superior a 10 MPa (Figura 4.28). Ao passo que, aplicando a NP EN 206-1, existem 27 % de resultados que não verificam, a uma distância inferior a 5 MPa, 13 % que não verificam, estão a uma distância entre os 5 MPa e os 10 MPa e 2 % dos resultados estão a uma distância superior a 10 MPa (Figura 4.29).

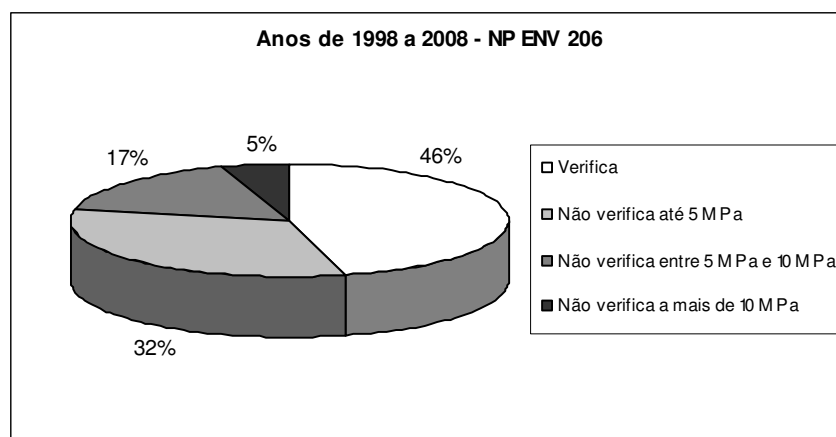


Figura 4.28 - Relação classe do Betão Obtida/ Exigida nos anos de 1998 a 2008, com a NP ENV 206

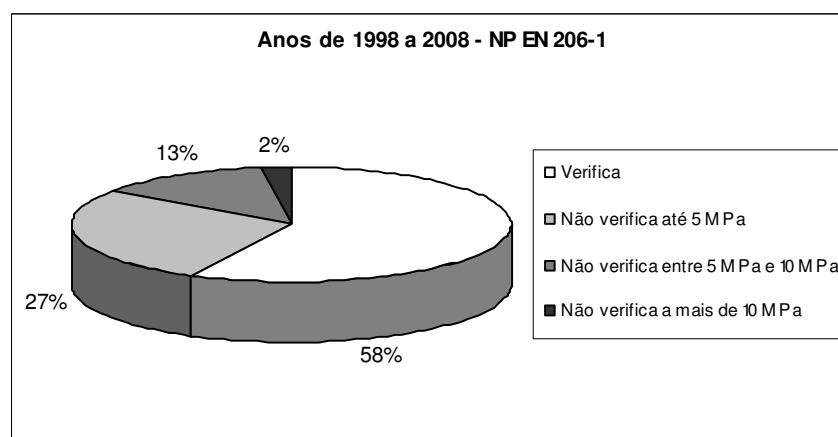


Figura 4.29 - Relação classe do Betão Obtida/ Exigida nos anos de 1998 a 2008, com a NP EN 206-1

Em suma, constatamos que, depois de se ter verificado uma quebra muito grande na qualidade do betão no ano 2000 e desde 2002 até 2004, tendo este ficado registado como o pior ano do período em análise, a partir de então tem-se vindo a verificar um relativo melhoramento no cumprimento dos critérios de conformidade da resistência à compressão, ao longo do período em estudo, ou seja de 1998 a 2008 (Figura 4.30).

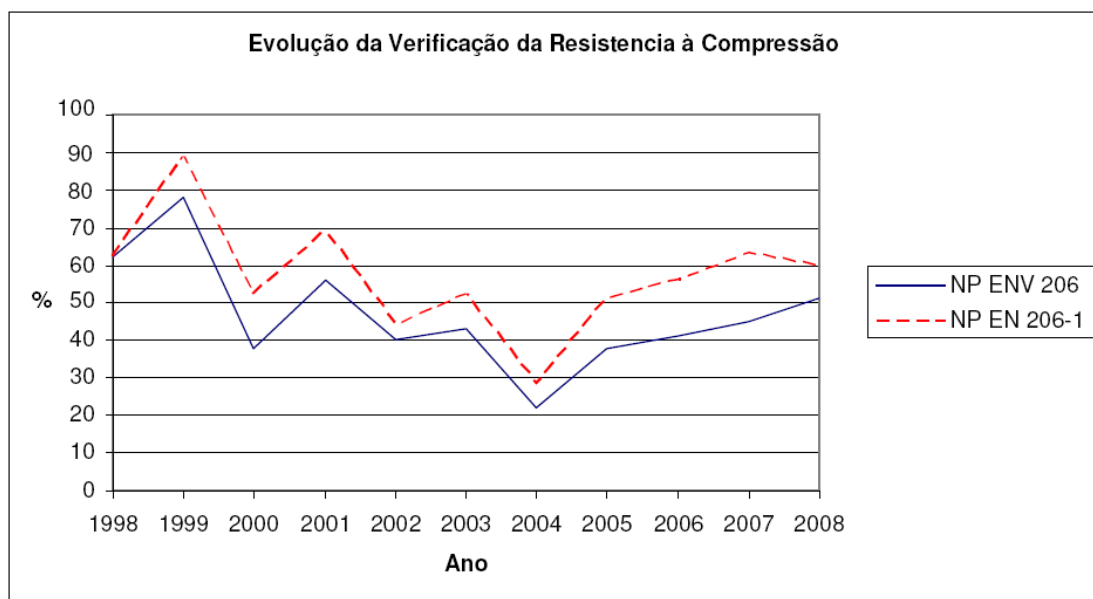


Figura 4.30 - Classes de Betão Obtida nos anos de 1998 a 2008, com as normas NP ENV 206 e NP EN 206-1

Conforme se pode constatar na Figura 4.31, sempre que se verificam os critérios de conformidade da resistência à compressão numa das normas, regra geral, a mesma conclusão vai acontecer na aplicação da outra norma (primeiro quadrante da Figura 4.31). O mesmo acontece quando uma das normas não verifica: regra geral, a outra também não vai verificar (terceiro quadrante da Figura 4.31). Quando acontecem conclusões diferentes entre as normas, em relação a este item, é quase sempre a norma NP EN 206-1 [1] que verifica e a NP ENV 206 [2] não (quarto quadrante da Figura 4.31). Ou seja, a norma NP EN 206-1 [1] não é tão exigente no controlo da conformidade da resistência à compressão de betão com certificação do controlo de produção. Comparando as normas, fórmula a fórmula, à medida que o número de resultados a analisar vai aumentando, confirmamos o seguinte: para 3 resultados, a fórmula da norma NP EN 206-1 [1] é igual a $f_{cm} \geq f_{ck} + 1$ e a

da norma NP ENV 206 [2] é igual a $f_{cm} \geq f_{ck} + 3$; para 4 resultados, a fórmula da norma NP EN 206-1 [1] é igual a $f_{cm} \geq f_{ck} + 1$ e a da norma NP ENV 206 [2] é igual a $f_{cm} \geq f_{ck} + 3$; para 5 resultados, a fórmula da norma NP EN 206-1 [1] é igual a $f_{cm} \geq f_{ck} + 2$ e a da norma NP ENV 206 [2] é igual a $f_{cm} \geq f_{ck} + 3$. Caso se tratasse de betão sem certificação do controlo de produção, a norma NP ENV 206 [2] tornava-se ainda mais exigente, sendo entre 3 e 5 resultados, usada a fórmula $f_{cm} \geq f_{ck} + 5$.

Somente em três casos aconteceu o oposto (segundo quadrante da Figura 4.31). Foi na obra 3 no ano de 2002, na obra 21 do ano de 2005 e na obra 7 do ano de 2006. A explicação reside em que, para lotes com 6 ou mais amostras, um dos critérios de verificação da conformidade da resistência à compressão na norma NP ENV 206 [2] é igual a $f_{cm} \geq f_{ck} + 1,48 s_n$, e na norma NP EN 206-1 [1] é igual a $f_{cm} \geq f_{ck} + 2$. Conforme se pode verificar pelas fórmulas, sempre que o desvio padrão de um lote de amostras for inferior a 1,35 MPa ($s_n = 2/1,48 = 1,35$ MPa), as condições de verificação de conformidade da resistência à compressão vão ser cumpridas mais rapidamente com a norma NP ENV 206 [2] do que com a norma NP EN 206-1 [1]. Ora nestas três obras, o número de amostras é igual a 6 e o desvio padrão é relativamente baixo, a rondar 1 MPa.

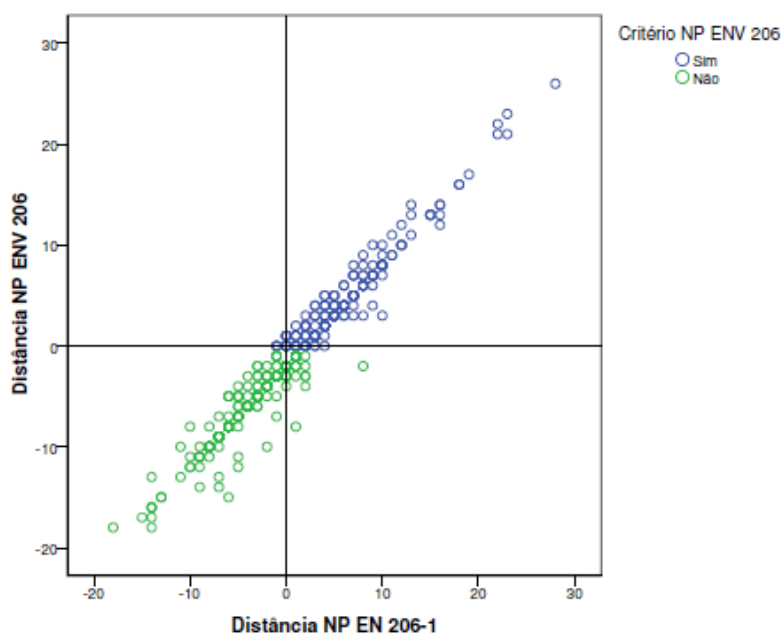


Figura 4.31 - Relação de conformidade da resistência à compressão entre as normas NPENV 206 e NP EN 206-1, no intervalo de anos a 1998 a 2008

4.2.1.2 - Análise das classes de 1998 a 2008

Esta análise foi feita para as classes de resistência à compressão C16/20, C20/25, C25/30 e C35/45, aquelas que foram ensaiadas no Laboratório de Materiais de Construção da Universidade do Minho, ao longo destes onze anos, e avaliando o cumprimento dos critérios de conformidade da resistência à compressão da norma NP ENV 206 [2]. Fez-se uma comparação com os resultados obtidos com a aplicação da NP EN 206-1 [1]. Por fim, uma vez que para a classe de betão de resistência à compressão C20/25 temos uma amostra significativa de volumes de betão para cada ano, fez-se também uma análise anual, de forma a verificar a evolução da verificação dos critérios, ao longo dos anos.

a) Classe C16/20

Fazendo uma análise global para todos os anos em estudo (Figura 4.32), verifica-se que só 41 % dos volumes de betão para a classe C16/20 cumprem os critérios de verificação da conformidade da resistência à compressão, sendo que, conseqüentemente, 59 % dos volumes de betão não cumprem esses mesmos critérios (Figura 4.33). Em 33 % das amostras, a classe do betão obtida está a uma distância inferior a 5 MPa da tensão característica. Em 20 %, a classe do betão obtida está a uma distância compreendida entre os 5 MPa e os 10 MPa da tensão característica. Finalmente, para 6 % dos volumes de betão, a distância entre a classe do betão obtida e a tensão característica é superior a 10 MPa. Ao aplicar a NP EN 206-1 [1], o resultado obtido é bastante mais favorável do que ao aplicar a NP ENV 206 [2], com 59 % dos resultados a cumprirem os critérios e 41 % não (Figura 4.33). Da percentagem de resultados que não cumprem os critérios, 21 % estão a uma distância inferior a 5 MPa da tensão característica, 17 % estão a uma distância entre os 5 MPa e os 10 MPa e somente 3 % estão a uma distância superior a 10 MPa da tensão característica.

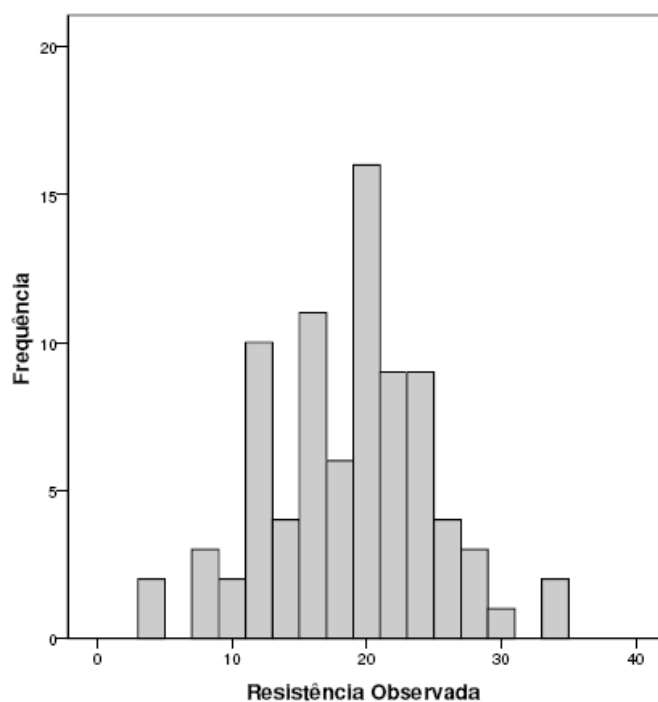


Figura 4.32 - Histograma de resultados da classe C16/20 nos anos de 1998 a 2008, com a norma NP ENV 206

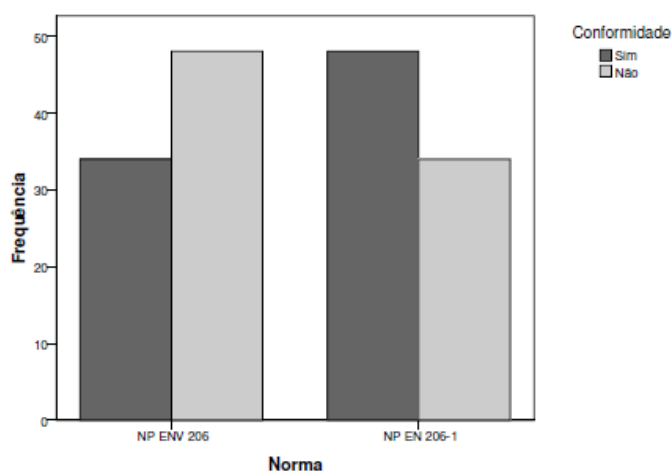


Figura 4.33 - Relação para a classe C16/20, Betão Obtido/ Exigido nos anos de 1998 a 2008, com as normas NP ENV 206 e NP EN 206-1

b) Classe C20/25

Fazendo, igualmente, uma análise global para todos os anos, desde 1998 até 2008 (Figura 4.34), verifica-se que 44 % dos volumes de betão para a classe C20/25 cumprem os

critérios de verificação da conformidade da resistência à compressão e 56 % dos volumes de betão não cumprem esses mesmos critérios (Figura 4.35). A classe do betão obtida está a uma distância inferior a 5 MPa da tensão característica, em 33 % dos volumes de betão. Em 19 %, a classe do betão obtida está a uma distância compreendida entre os 5 MPa e os 10 MPa da tensão característica. Finalmente, para 4 % dos volumes de betão, a distância entre a classe do betão obtida e a tensão característica é superior a 10 MPa.

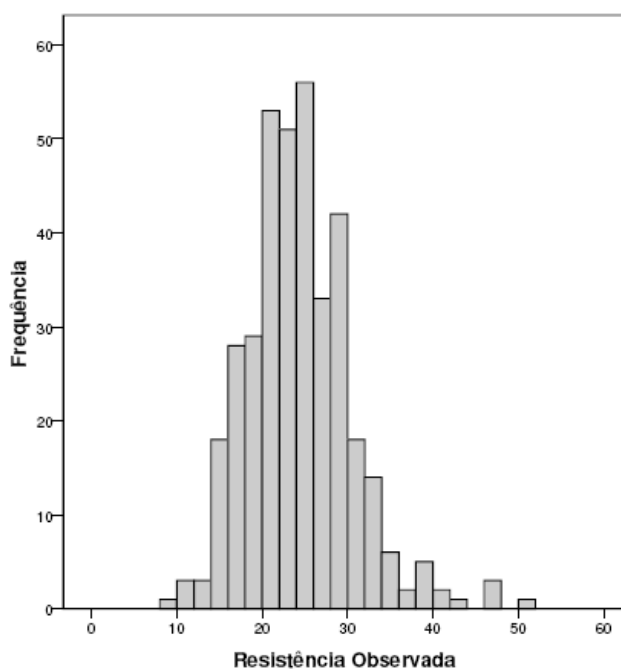


Figura 4.34 - Histograma de resultados da classe C20/25 nos anos de 1998 a 2008, com a norma NP ENV 206

Para a norma NP EN 206-1 [1], para o mesmo intervalo de anos de 1998 a 2008, verifica-se que 57 % dos volumes de betão para a classe C20/25 cumprem os critérios de verificação da conformidade da resistência à compressão e 43 % dos volumes de betão não cumprem esses mesmos critérios (Figura 4.35). A classe do betão obtida está a uma distância inferior a 5 MPa da tensão característica, em 28 % dos volumes de betão. Em 14 %, a classe do betão obtida está a uma distância compreendida entre os 5 MPa e os 10 MPa da tensão característica. Finalmente, para 1 % das amostras ensaiadas, a distância entre a classe do betão obtida e a tensão característica é superior a 10 MPa.

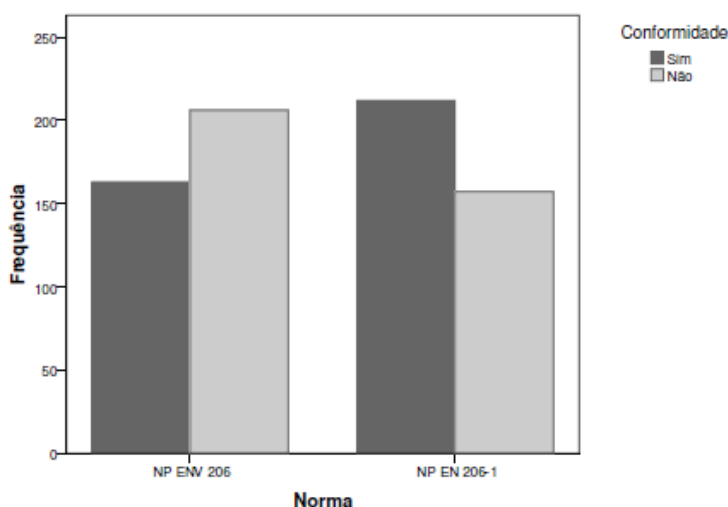


Figura 4.35 - Relação para a classe C20/25, Betão Obtido/ Exigido nos anos de 1998 a 2008, com as normas NPENV 206 e NP EN 206-1

Assim, analisando ano a ano (Figura 4.36), e começando pelo ano de 1998, verificamos que, aplicando a norma NP ENV 206 [2], 65 % dos volumes de betão cumprem os critérios de verificação, sendo que como tal, 35 % não cumprem os critérios. Em 22 % dos volumes de betão, a classe do betão obtida está a uma distância inferior a 5 MPa da tensão característica. Em 13 %, a classe do betão obtida situa-se a uma distância compreendida entre os 5 MPa e os 10 MPa da tensão característica. Não se verificou qualquer volume de betão, em que a distância entre a classe do betão obtida e a tensão característica é superior a 10 MPa.

Para a norma NP EN 206-1 [1], para o mesmo ano de 1998, verifica-se igualmente que 65 % dos volumes de betão para a classe C20/25 cumprem os critérios de verificação da conformidade da resistência à compressão, e 35 % dos volumes de betão não cumprem esses mesmos critérios. A classe do betão obtida está a uma distância inferior a 5 MPa da tensão característica em 31 % dos volumes de betão. Em 4 %, a classe do betão obtida está a uma distância compreendida entre os 5 MPa e os 10 MPa da tensão característica.

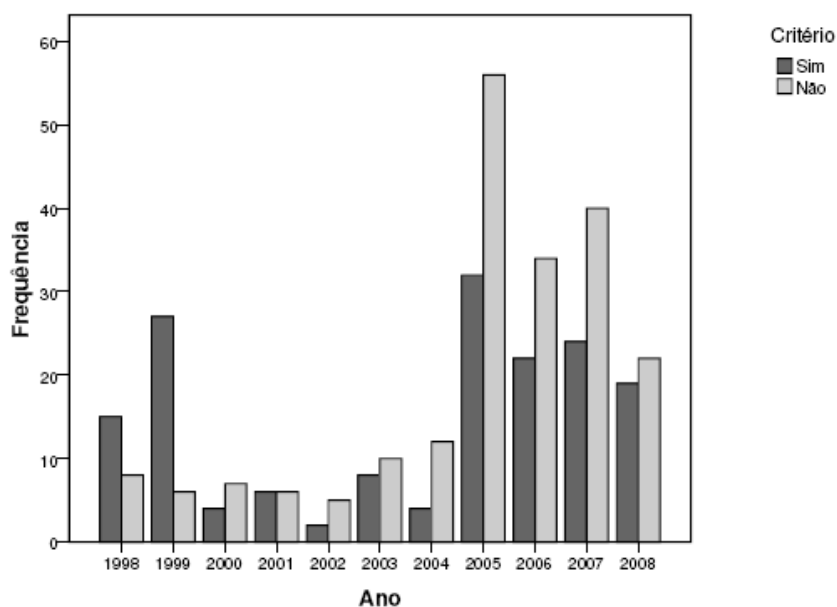


Figura 4.36 - Relação para a classe C20/25, Betão Obtido/ Exigido, por ano, de 1998 a 2008, com a norma NPENV 206

Para o ano de 1999, segundo a NP ENV 206 [2], 82 % dos volumes de betão cumprem os critérios de verificação e, conseqüentemente, 18 % não cumprem os mesmos. Em 15 % dos volumes de betão, a classe do betão obtida está a uma distância inferior a 5 MPa da tensão característica. Em 3 %, a classe do betão obtida está a uma distância compreendida entre os 5 MPa e os 10 MPa da tensão característica. Em nenhuma semana, a distância entre a classe do betão obtida e a tensão característica é superior a 10 MPa.

Para a norma NP EN 206-1 [1], no mesmo ano de 1999, verifica-se que 91 % dos volumes de betão, para a classe C20/25, cumprem os critérios de verificação da conformidade da resistência à compressão e 9 % dos volumes de betão não cumprem esses mesmos critérios. A classe do betão obtida situa-se a uma distância inferior a 5 MPa da tensão característica em 6 % dos volumes de betão. Em 3 %, a classe do betão obtida está a uma distância compreendida entre os 5 MPa e os 10 MPa da tensão característica.

No ano de 2000, segundo a NP ENV 206 [2], verificamos que só 36 % dos volumes de betão cumprem os critérios de verificação, conseqüentemente, 64 % não cumprem os

referidos critérios. Em 28 % dos volumes de betão, a classe do betão obtida está a uma distância inferior a 5 MPa da tensão característica e em 36 %, a classe do betão obtida está a uma distância compreendida entre os 5 MPa e os 10 MPa da tensão característica.

Para a norma NP EN 206-1 [1], para o mesmo ano de 2000, verifica-se que 36 % dos volumes de betão, para a classe C20/25, cumprem os critérios de verificação da conformidade da resistência à compressão e 64 % não cumprem esses mesmos critérios. A classe do betão obtida está a uma distância inferior a 5 MPa da tensão característica, em 46 % dos volumes de betão. Em 18 %, a classe do betão obtida está a uma distância compreendida entre os 5 MPa e os 10 MPa da tensão característica.

Em 2001, houve uma ligeira recuperação, pois aplicando a norma NP ENV 206 [2], com 50 % dos volumes de betão a cumprirem os critérios de verificação e 50 % a não cumprir os critérios de verificação da conformidade da resistência à compressão. Em 17 % dos volumes de betão, a classe do betão obtida está a uma distância inferior a 5 MPa da tensão característica e, igualmente, em 33 %, a classe do betão obtida está a uma distância compreendida entre os 5 MPa e os 10 MPa da tensão característica.

Para a norma NP EN 206-1 [1], para o mesmo ano de 2001, verifica-se que 58 % dos volumes de betão, para a classe C20/25, cumprem os critérios de verificação da conformidade da resistência à compressão e 42 % não cumprem esses mesmos critérios. A classe do betão obtida está a uma distância inferior a 5 MPa da tensão característica, em 42 % dos volumes de betão.

Para o ano de 2002, a situação volta a agravar-se, pois aplicando a norma NP ENV 206 [2], 29 % dos volumes de betão cumprem os critérios de verificação da conformidade da resistência à compressão e, por conseguinte, 71 % não cumprem os mesmos. Em 43 % dos volumes de betão, a classe do betão obtida está a uma distância inferior a 5 MPa da tensão característica. Em 14 %, a classe do betão obtida está a uma distância compreendida entre os 5 MPa e os 10 MPa da tensão característica. Em 14 % dos volumes de betão, a distância entre a classe do betão obtida e a tensão característica é superior a 10 MPa.

Para a norma NP EN 206-1 [1], para o mesmo ano de 2002, verifica-se que 43 % dos volumes de betão, para a classe C20/25, cumprem os critérios de verificação da conformidade da resistência à compressão e 57 % não cumprem esses mesmos critérios. A classe do betão obtida está a uma distância inferior a 5 MPa da tensão característica, em 43 % dos volumes de betão. Em 14 %, a classe do betão obtida está a uma distância compreendida entre os 5 MPa e os 10 MPa da tensão característica.

Para o ano de 2003, segundo a norma NP ENV 206 [2], 44 % dos volumes de betão cumprem os critérios de verificação da conformidade da resistência à compressão e 56 % não cumprem os mesmos. Em 33 % dos volumes de betão, a classe do betão obtida está a uma distância inferior a 5 MPa da tensão característica. Em 17 %, a classe do betão obtida está a uma distância compreendida entre os 5 MPa e os 10 MPa da tensão característica. Em 6 % dos volumes de betão, a distância entre a classe do betão obtida e a tensão característica é superior a 10 MPa.

Para a norma NP EN 206-1 [1], para o mesmo ano de 2003, verifica-se que 56 % dos volumes de betão, para a classe C20/25, cumprem os critérios de verificação da conformidade da resistência à compressão e 44 % não cumprem esses mesmos critérios. A classe do betão obtida está a uma distância inferior a 5 MPa da tensão característica em 22 % dos volumes de betão. Em 22 %, a classe do betão obtida está a uma distância compreendida entre os 5 MPa e os 10 MPa da tensão característica.

Para o ano de 2004, a situação volta a agravar-se, pois da aplicação da norma NP ENV 206 [2], 25 % dos volumes de betão cumprem os critérios de verificação da conformidade da resistência à compressão e 75 % não cumprem os mesmos. Em 38 % dos volumes de betão, a classe do betão obtida está a uma distância inferior a 5 MPa da tensão característica. Em 37 %, a classe do betão obtida está a uma distância compreendida entre os 5 MPa e os 10 MPa da tensão característica.

Para a norma NP EN 206-1 [1], para o mesmo ano de 2004, verifica-se que 31 % dos volumes de betão, para a classe C20/25, cumprem os critérios de verificação da conformidade da resistência à compressão, pelo que 69 % não cumprem esses mesmos critérios. A classe do betão obtida está a uma distância inferior a 5 MPa da tensão característica, em 38 % das amostras. Em 31 %, a classe de betão obtida está a uma distância compreendida entre os 5 MPa e os 10 MPa da tensão característica.

Para o ano de 2005, segundo a norma NP ENV 206 [2], 36 % dos volumes de betão cumprem os critérios de verificação da conformidade da resistência à compressão e 64 % não cumprem os mesmos. Em 44 % dos volumes de betão, a classe do betão obtida está a uma distância inferior a 5 MPa da tensão característica. Em 17 %, está a uma distância compreendida entre os 5 MPa e os 10 MPa da tensão característica. Em 3 % dos volumes de betão, a distância entre a classe do betão obtida e a tensão característica é superior a 10 MPa.

Para a norma NP EN 206-1 [1], para o mesmo ano de 2005, verifica-se que 50 % dos volumes de betão, para a classe C20/25, cumprem os critérios de verificação da conformidade da resistência à compressão e 50 % não cumprem esses mesmos critérios. A classe do betão obtida está a uma distância inferior a 5 MPa da tensão característica, em 37 % dos volumes de betão. Em 11 %, a classe do betão obtida está a uma distância compreendida entre os 5 MPa e os 10 MPa da tensão característica. Finalmente, para 2 % dos volumes de betão, a distância entre a classe do betão obtida e a tensão característica é superior a 10 MPa.

Para o ano de 2006, aplicando a norma NP ENV 206 [2], 39 % dos volumes de betão cumprem os critérios de verificação da conformidade da resistência à compressão e 61 % não cumprem os mesmos. Em 43 % dos volumes de betão, a classe do betão obtida está a uma distância inferior a 5 MPa da tensão característica. Em 18 %, a classe do betão obtida está a uma distância compreendida entre os 5 MPa e os 10 MPa da tensão característica.

Para a norma NP EN 206-1 [1], para o mesmo ano de 2006, verifica-se que 54 % dos volumes de betão, para a classe C20/25, cumprem os critérios de verificação da conformidade da resistência à compressão, e 46 % não cumprem esses mesmos critérios. A classe do betão obtida está a uma distância inferior a 5 MPa da tensão característica em 32 % dos volumes de betão. Em 14 %, está a uma distância compreendida entre os 5 MPa e os 10 MPa da tensão característica.

Para o ano de 2007, a situação mantém-se, pois aplicando a norma NP ENV 206 [2], 38 % dos volumes de betão cumprem os critérios de verificação da conformidade da resistência à compressão e 62 % não cumprem os mesmos. Em 38 % dos volumes de betão, a classe do betão obtida está a uma distância inferior a 5 MPa da tensão característica. Em 20 %, está a uma distância compreendida entre os 5 MPa e os 10 MPa da tensão característica. Em 4 % dos volumes de betão, a distância entre a classe do betão obtida e a tensão característica é superior a 10 MPa.

Para a norma NP EN 206-1 [1], para o mesmo ano de 2007, verifica-se que 59 % dos volumes de betão, para a classe C20/25, cumprem os critérios de verificação da conformidade da resistência à compressão, pelo que 41 % não cumprem esses mesmos critérios. A classe do betão obtida está a uma distância inferior a 5 MPa da tensão característica, em 24 % dos volumes de betão. Em 17 %, está a uma distância compreendida entre os 5 MPa e os 10 MPa da tensão característica.

Finalmente, no ano de 2008, segundo a norma NP ENV 206 [2], 46 % dos volumes de betão cumprem os critérios de verificação da conformidade da resistência à compressão e 54 % não os cumprem. Em 18 % dos volumes de betão, a classe do betão obtida está a uma distância inferior a 5 MPa da tensão característica. Em 24 %, a classe do betão obtida está a uma distância compreendida entre os 5 MPa e os 10 MPa da tensão característica. Em 12 % dos volumes de betão, a distância entre a classe do betão obtida e a tensão característica é superior a 10 MPa.

Para a norma NP EN 206-1 [1], para o mesmo ano de 2008, verifica-se que 56 % dos volumes de betão, para a classe C20/25 cumprem os critérios de verificação da

conformidade da resistência à compressão e 44 % não cumprem os ditos critérios. A classe do betão obtida está a uma distância inferior a 5 MPa da tensão característica, em 22 % dos volumes de betão. Em 20 %, a classe do betão obtida está a uma distância compreendida entre os 5 MPa e os 10 MPa da tensão característica. Finalmente, para 2 % dos volumes de betão, a distância entre a classe do betão obtida e a tensão característica é superior a 10 MPa.

Também aqui, ao analisarmos a classe C20/25, e tal como na visão geral sobre todas as classes, constatamos que, depois de se ter verificado uma quebra muito grande na qualidade do betão, a partir do ano 2000 e até 2004, tem vindo a verificar-se um melhoramento gradual do cumprimento dos critérios de conformidade da resistência à compressão, ao longo do período em estudo, de 1998 a 2008, conforme se pode compreender pelos gráficos apresentados nas Figuras 4.37 e 4.38.

Sabemos que a mediana é uma medida de tendência central, que caracteriza as observações de uma determinada variável de tal forma que o seu valor, determinado a partir de um conjunto de dados ordenado, separa a metade inferior da amostra, população, da metade superior. Mais concretamente, metade da população terá valores inferiores ou iguais à mediana e metade da população terá valores superiores ou iguais à mediana. Pelo gráfico apresentado na Figura 4.37 que nos dá o valor das medianas no intervalo de anos entre 1998 e 2008 para a classe de betão C20/25, podemos concluir que depois de dois anos positivos, 1998 e 1999, os resultados da resistência à compressão para a classe C20/25 tiveram uma tendência para baixar até ao ano 2004, registando-se a partir daí uma ligeira recuperação. Esta tendência é confirmada pela dispersão dos resultados dada pela Figura 4.38. O ano de 1999 foi o melhor, uma vez que se obteve a maior mediana, o maior percentil 25 e o maior percentil 75. No sentido inverso esteve o ano 2004, com a pior mediana, o mais baixo percentil 25 e o mais baixo percentil 75 (ver Figura 4.37).

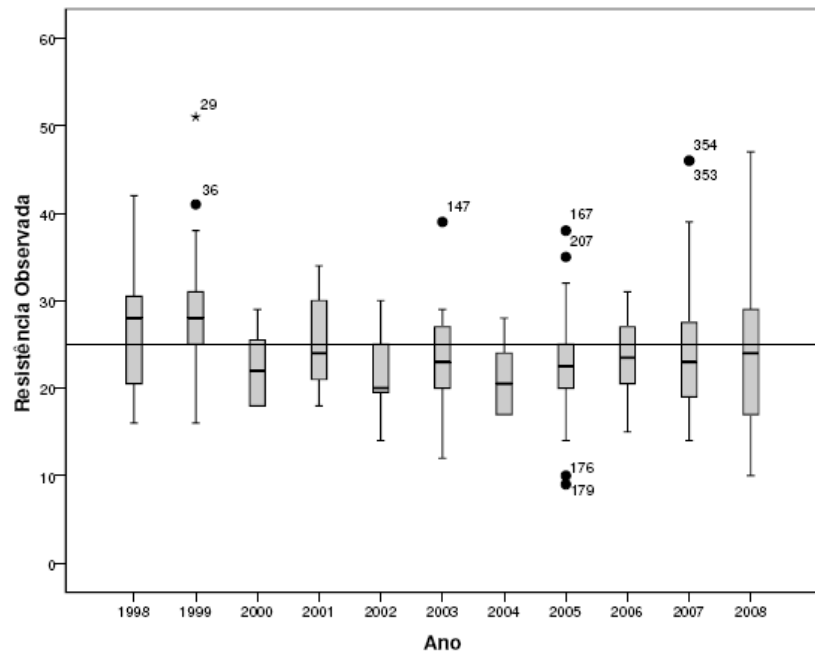


Figura 4.37 - Evolução da classe C20/25 nos anos de 1998 a 2008, com a norma NP ENV

206

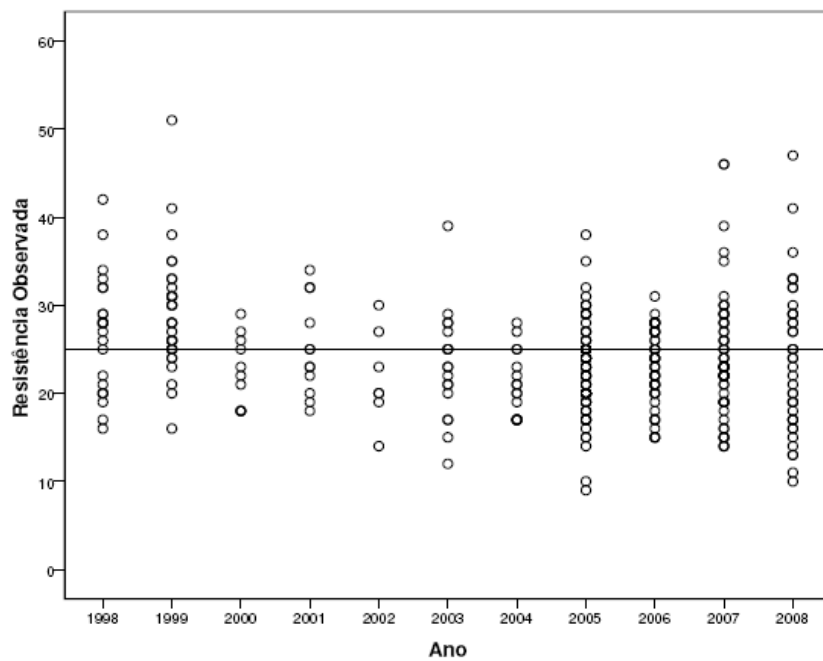


Figura 4.38 - Dispersão dos resultados para a classe C20/25 nos anos de 1998 a 2008, com a norma NP ENV 206

c) Classe C25/30

Para o intervalo de anos, desde 1998 até 2008 (Figura 4.39), ao aplicar a norma NP ENV 206 [2], verifica-se que 64 % dos volumes de betão, para a classe C25/30, cumprem os critérios de verificação da conformidade da resistência à compressão e que 36 % não cumprem tais critérios (Figura 4.40). Em 30 % dos volumes de betão, a classe do betão obtida está a uma distância inferior a 5 MPa da tensão característica. Em 3 %, a classe do betão obtida está a uma distância compreendida entre os 5 MPa e os 10 MPa da tensão característica. Em 3 % dos volumes de betão, a distância entre a classe do betão obtida e a tensão característica é superior a 10 MPa. Ao aplicar a NP EN 206-1 [1], o resultado obtido é parecido com o da NP ENV 206 [2], mas ligeiramente superior. 66 % dos volumes de betão, para a classe C25/30, cumprem os critérios de verificação da conformidade da resistência à compressão e 34 % das amostras não cumprem os critérios (Figura 4.40). Em 31 % dos volumes de betão, a classe do betão obtida está a uma distância inferior a 5 MPa da tensão característica. Em 2 %, está a uma distância compreendida entre os 5 MPa e os 10 MPa da tensão característica. Em 1 % dos volumes de betão, a distância entre a classe do betão obtida e a tensão característica é superior a 10 MPa.

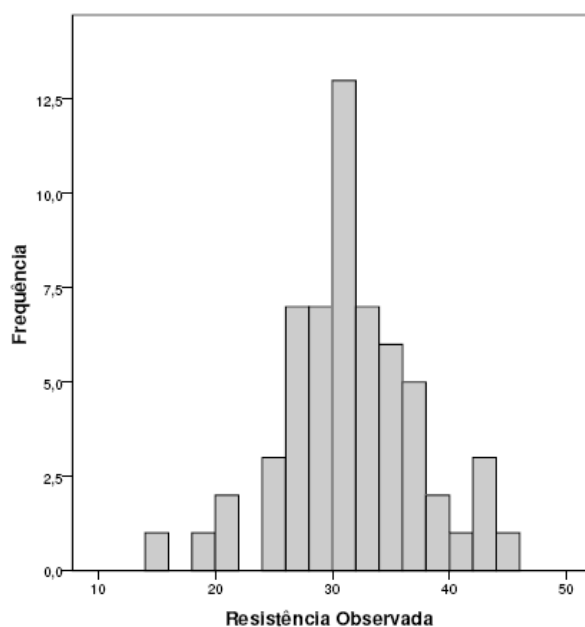


Figura 4.39 - Histograma de resultados da classe C25/30 nos anos de 1998 a 2008, com a norma NP ENV 206

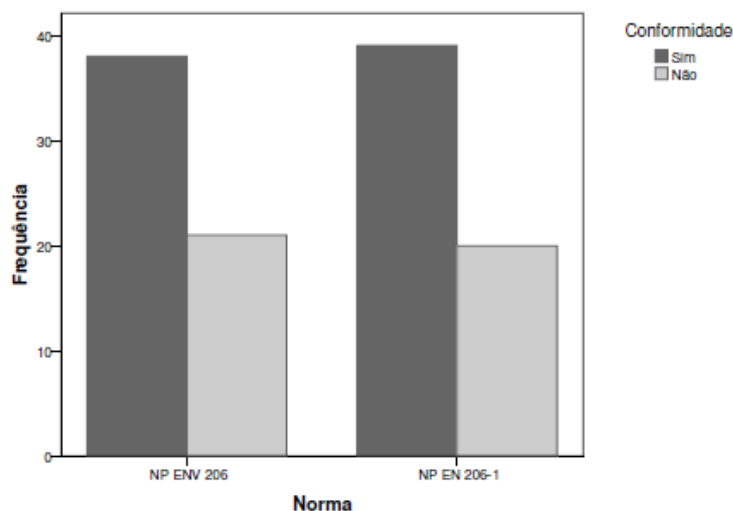


Figura 4.40 - Relação para a classe C25/30, Betão Obtido/ Exigido nos anos de 1998 a 2008, com as normas NPENV 206 e NP EN 206-1

d) Classes C30/37 e C35/45

Destas duas classes de betão, C30/37 e C35/45, durante o intervalo de anos em estudo, obtiveram-se pouquíssimos resultados, insuficientes, pois, para se poder vislumbrar uma tendência. Ainda assim, verificou-se que 100 % dos dois ensaios, para a classe C30/37, ao aplicar qualquer norma, NP ENV 206 [2] e NP EN 206-1 [1], cumprem os critérios de verificação da conformidade da resistência à compressão. Neste caso, foram avaliados somente dois resultados.

Fazendo, do mesmo modo, uma análise global, para a classe C35/45, em todos os anos, desde 1998 até 2008 (Figura 4.41), começando por aplicar a norma NP ENV 206 [2], verifica-se que 25 % dos doze ensaios cumprem os critérios de verificação da conformidade da resistência à compressão e 75 % não cumprem os referidos critérios (Figura 4.42). Para 25 % dos volumes de betão, a classe de betão obtida está a uma distância inferior a 5 MPa da tensão característica. Em 50 %, a distância entre a classe do betão obtida e a tensão característica é superior a 10 MPa. Ao aplicar a NP EN 206-1 [1], o resultado obtido é parecido com o da NP ENV 206 [2], mas ligeiramente superior. 33 % dos volumes de betão, para a classe C35/45, cumprem os critérios de verificação da conformidade da resistência à compressão e que 67 % não cumprem os critérios (Figura 4.42). Em 17 % dos

volumes de betão, a classe do betão obtida está a uma distância inferior a 5 MPa da tensão característica. Em 8 %, a classe do betão obtida está a uma distância compreendida entre os 5 MPa e os 10 MPa da tensão característica. Em 42 % dos volumes de betão, a distância entre a classe do betão obtida e a tensão característica é superior a 10 MPa. De lembrar, mais uma vez, que os resultados obtidos, nesta classe de resistência do betão, C35/45, advêm todos da mesma obra.

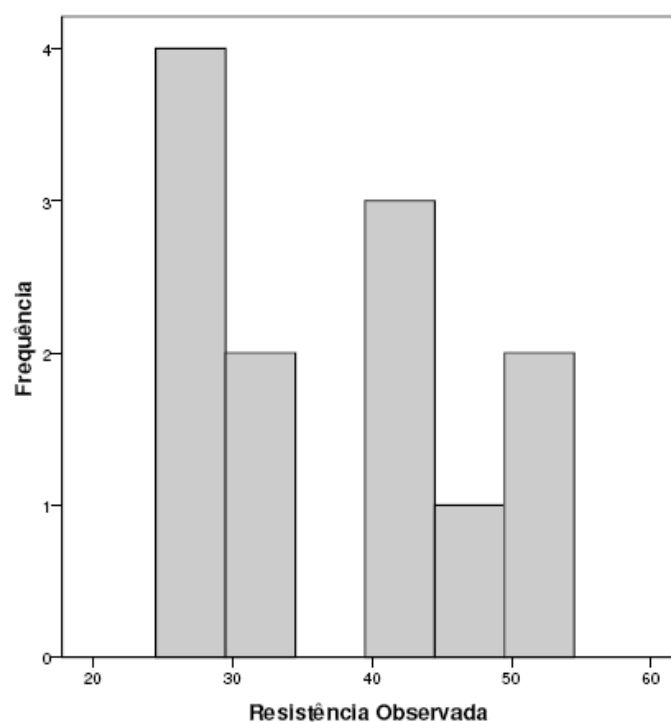


Figura 4.41 - Histograma de resultados da classe C35/45 nos anos de 1998 a 2008, com a norma NP ENV 206

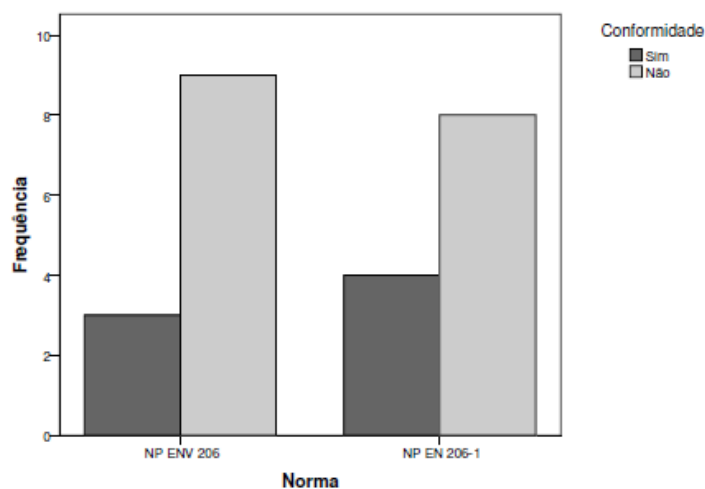


Figura 4.42 - Relação para a classe C35/45, Betão Obtido/ Exigido nos anos de 1998 a 2008, com as normas NP ENV 206 e NP EN 206-1

4.2.1.3 - Análise por empreiteiro ao longo dos anos

Ao longo do intervalo de tempo entre os anos de 1998 e 2008, de todos os empreiteiros analisados, quatro tiveram um número significativo de resultados para poderem ser analisados.

Assim, e começando pelo Empreiteiro 1, verificou-se que este realizou, exclusivamente, obras de média dimensão. Entre 1998 e 2008 (Figura 4.43), nos volumes de betão de obras analisadas, 57 % verificaram os critérios da NP ENV 206 [2] e 43 % não. Dos volumes de betão que não verificaram tais critérios, 35 % ficaram até 5 MPa da resistência à compressão pretendida e 8 % ficaram a uma distância da resistência à compressão pretendida entre 5 e 10 MPa. Em relação à evolução ao longo dos anos, não se consegue estabelecer uma tendência sobre o cumprimento da resistência à compressão.

Para a norma NP EN 206-1 [1], para o mesmo intervalo de tempo em análise e para o Empreiteiro 1, verifica-se que 61 % dos volumes de betão cumprem os critérios de verificação da conformidade da resistência à compressão e 39 % não cumprem esses mesmos critérios. A classe do betão obtida está a uma distância inferior a 5 MPa da tensão característica em 35 % dos volumes de betão. Em 4 %, a classe do betão obtida está a uma distância compreendida entre os 5 MPa e os 10 MPa da tensão característica.

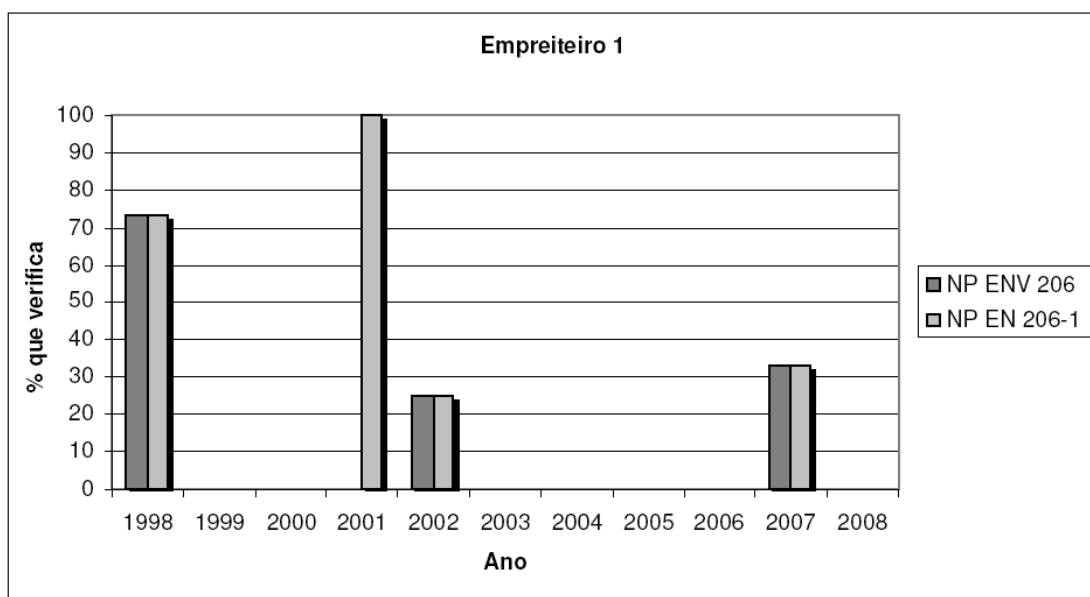


Figura 4.43 - Empreiteiro 1 em obras nos anos de 1998 a 2008, aplicando e verificando as normas NPENV 206 e NP EN 206-1

O Empreiteiro 2 realizou, relativamente ao total das obras, 34 % de obras de pequena dimensão, 56 % de obras de média dimensão e 10 % de grande dimensão. Para o Empreiteiro 2, analisando, no global, obras de pequena, média e grande dimensão, constatou-se que, aplicando a norma NP ENV 206 [2], 41 % dos volumes de betão analisados verificaram os critérios de resistência à compressão e 59 % não. Dos volumes de betão que não verificaram, 38 % ficaram até 5 MPa da resistência à compressão pretendida, 20 % a uma distância da resistência à compressão pretendida entre 5 e 10 MPa e 1 % dos volumes de betão a uma distância superior a 10 MPa. Nos volumes de betão analisados, de obras de pequena dimensão, 42 % verificaram os critérios da NP ENV 206 [2] e 58 % não. Dos volumes de betão que não verificaram, 46 % ficaram até 5 MPa da resistência à compressão pretendida e 12 % a uma distância da resistência à compressão pretendida entre 5 e 10 MPa. Nos volumes de betão de obras de média dimensão, 38 % verificaram os critérios da NP ENV 206 [2] e 62 % não. Dos volumes de betão que não verificaram, 35 % ficaram até 5 MPa da resistência à compressão pretendida, 25 % ficaram a uma distância da resistência à compressão pretendida entre 5 e 10 MPa e 2 % a uma distância da resistência à

compressão pretendida superior a 10 MPa. Nos volumes de betão analisados de obras grandes, 57 % verificaram os critérios da NP ENV 206 [2] e 43 % não. Dos que não verificaram, 29 % ficaram até 5 MPa da resistência à compressão pretendida e 14 % a uma distância da resistência à compressão pretendida entre 5 e 10 MPa. Mais uma vez, em relação à evolução da qualidade do betão, ao longo dos anos, para o Empreiteiro 2 não se consegue estabelecer uma tendência sobre a resistência à compressão, isto é, se tem vindo a melhorar ou a piorar.

Aplicando a norma NP EN 206-1 [1], 56 % dos volumes de betão analisados verificaram os critérios de resistência à compressão e 44 % não. Dos que não verificaram, 29 % ficaram até 5 MPa da resistência à compressão pretendida, 14 % a uma distância da resistência à compressão pretendida entre 5 e 10 MPa e 1 % dos volumes de betão ficaram a uma distância superior a 10 MPa. Para o mesmo Empreiteiro 2, verifica-se que nos volumes de betão analisados de obras de pequena dimensão, 63 % verificaram os critérios da norma e 37 % não. Dos que não verificaram, 29 % ficaram até 5 MPa da resistência à compressão pretendida e 8 % a uma distância da resistência à compressão pretendida entre 5 e 10 MPa. Nos volumes de betão analisados de obras de média dimensão, 50 % verificaram os critérios da NP EN 206-1 [1] e 50 % não. Dos volumes de betão que não verificaram, 28 % ficaram até 5 MPa da resistência à compressão pretendida, 20 % a uma distância da resistência à compressão pretendida entre 5 e 10 MPa e 2% a uma distância da resistência à compressão pretendida superior a 10 MPa. Nos volumes de betão analisados de obras grandes, 71 % verificaram os critérios da NP EN 206-1 [1] e 29 % não. Dos que não verificaram, 29 % ficaram até 5 MPa da resistência à compressão pretendida. Mais uma vez, em relação à evolução da qualidade do betão ao longo dos anos, não se consegue estabelecer uma tendência sobre o cumprimento da resistência à compressão (Figura 4.44).

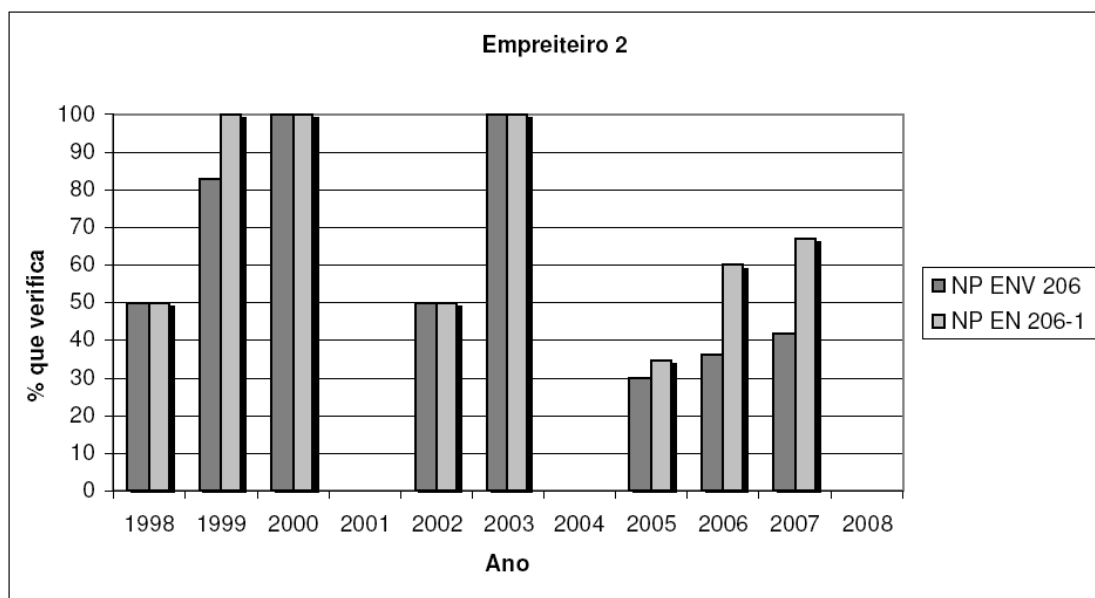


Figura 4.44 - Empreiteiro 2 em obras nos anos de 1998 a 2008, aplicando e verificando as normas NPENV 206 e NP EN 206-1

O Empreiteiro 3 realizou, relativamente ao total das obras, 27 % de obras de média dimensão e 73 % de grande dimensão. Para o Empreiteiro 3, analisando no global obras de média e grande dimensão, constatou-se que, aplicando a norma NP ENV 206 [2], 71 % dos volumes de betão analisados verificaram os critérios de resistência à compressão e 29 % não. Dos volumes de betão que não verificaram, 17 % ficaram até 5 MPa da resistência à compressão pretendida, 12 % a uma distância da resistência à compressão pretendida entre 5 e 10 MPa. Nos volumes de betão de obras de média dimensão analisados, 36 % verificaram os critérios da NP ENV 206 [2] e 64 % não. Dos que não verificaram, 28 % ficaram até 5 MPa da resistência à compressão pretendida e 36 % a uma distância da resistência à compressão pretendida entre 5 e 10 MPa. Nos volumes de betão de obras grandes analisados, 83 % verificaram os critérios da NP ENV 206 [2] e 17 % não. Dos volumes de betão que não verificaram, 14 % ficaram até 5 MPa da resistência à compressão pretendida e 3 % ficaram a uma distância da resistência à compressão pretendida entre 5 e 10 MPa. Mais uma vez, em relação à evolução da qualidade do betão, ao longo dos anos, para o Empreiteiro 3 não se consegue estabelecer uma tendência sobre a resistência à compressão, isto é, se tem vindo a melhorar ou a piorar.

Aplicando a norma NP EN 206-1 [1], 76 % dos volumes de betão analisados verificaram os critérios de resistência à compressão e 24 % não. Dos volumes de betão que não verificaram, 17 % ficaram até 5 MPa da resistência à compressão pretendida, 7 % a uma distância da resistência à compressão pretendida entre 5 e 10 MPa. Para o mesmo Empreiteiro 3, verifica-se que nos volumes de betão analisados, de obras de média dimensão, 45 % verificaram os critérios da NP EN 206-1 [1] e 55 % não. Dos que não verificaram, 37 % ficaram até 5 MPa da resistência à compressão pretendida e 18 % a uma distância da resistência à compressão pretendida entre 5 e 10 MPa. Nos volumes de betão de obras grandes analisadas, 87 % verificaram os critérios da NP EN 206-1 [1] e 13 % não. Dos que não verificaram, 10 % ficaram até 5 MPa da resistência à compressão pretendida e 3 % a uma distância da resistência à compressão pretendida entre 5 e 10 MPa. Mais uma vez, em relação à evolução da qualidade do betão ao longo dos anos, não se consegue estabelecer uma tendência sobre o cumprimento da resistência à compressão (Figura 4.45).

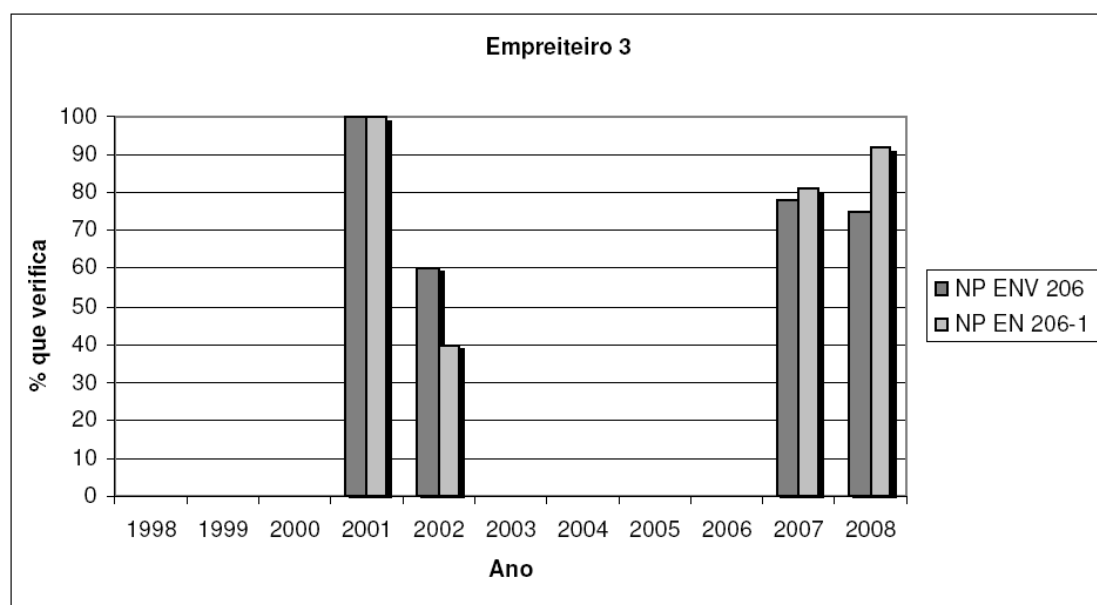


Figura 4.45 - Empreiteiro 3 em obras nos anos de 1998 a 2008, aplicando e verificando as normas NPENV 206 e NP EN 206-1

O Empreiteiro 4 realizou, relativamente ao total das obras, 56 % de obras de pequena dimensão e 44 % de média dimensão. Para o Empreiteiro 4, analisando no global obras de pequena e média dimensão, constatou-se que, aplicando a norma NP ENV 206 [2], 29 %

dos volumes de betão analisados verificaram os critérios de resistência à compressão e 71 % não. Dos que não verificaram, 39 % ficaram até 5 MPa da resistência à compressão pretendida, 21 % a uma distância da resistência à compressão pretendida entre 5 e 10 MPa e 11 % dos volumes de betão a uma distância superior a 10 MPa. Nos volumes de betão analisados de obras de pequena dimensão, 20 % verificaram os critérios da NP ENV 206 [2] e 80 % não. Dos volumes de betão que não verificaram, 40 % ficaram até 5 MPa da resistência à compressão pretendida, 23 % a uma distância entre 5 e 10 MPa e 17 % a uma distância superior a 10 MPa. Nos volumes de betão analisados de obras de média dimensão, 41 % verificaram os critérios da NP ENV 206 [2] e 59 % não. Dos que não verificaram, 37 % ficaram até 5 MPa da resistência à compressão pretendida, 19 % a uma distância entre 5 e 10 MPa e 3 % a uma distância superior a 10 MPa. Mais uma vez, em relação à evolução da qualidade do betão, ao longo dos anos, para o Empreiteiro 4 não se consegue estabelecer uma tendência sobre o cumprimento da resistência à compressão.

Aplicando a norma NP EN 206-1 [1], 45 % dos volumes de betão analisados verificaram os critérios de resistência à compressão e 55 % não. Dos volumes de betão que não verificaram, 32 % ficaram até 5 MPa da resistência à compressão pretendida, 18 % a uma distância da resistência à compressão pretendida entre 5 e 10 MPa e 5 % dos volumes de betão a uma distância superior a 10 MPa. Para o mesmo Empreiteiro 4, verifica-se que nos volumes de betão analisados, de obras de pequena dimensão, 34 % verificaram os critérios da norma e 66 % não. Dos que não verificaram, 34 % ficaram até 5 MPa da resistência à compressão pretendida, 23 % ficaram a uma distância da resistência à compressão pretendida entre 5 e 10 MPa e 9 % a uma distância superior a 10 MPa. Nos volumes de betão analisados, de obras de média dimensão, 59 % verificaram os critérios da NP EN 206-1 [1] e 41 % não. Dos que não verificaram, 30 % ficaram até 5 MPa da resistência à compressão pretendida e 11 % a uma distância da resistência à compressão pretendida entre 5 e 10 MPa. Mais uma vez, em relação à evolução da qualidade do betão, ao longo dos anos, não se consegue estabelecer uma tendência sobre a resistência à compressão, isto é, se tem vindo a melhorar ou a piorar (Figura 4.46).

Embora não se possa falar de uma tendência, analisando os quatro Empreiteiros com mais obras, existe uma ligeira percepção de que, depois de 2003 e até 2005, a percentagem de resistências à compressão pretendidas que verificam os critérios das normas tenha vindo a diminuir. A partir de então e até hoje, essa percentagem tem vindo a aumentar. Apesar de tudo, consegue verificar-se que, quanto maior é a dimensão das obras, mais vezes se consegue atingir a resistência à compressão pretendida. Verificamos com os Empreiteiros, que, tal como aconteceu para o estudo das classes de betão, quanto maior era a responsabilidade em questão, uma classe de betão pretendida elevada e/ou uma obra de maior dimensão, mais vezes se conseguia obter essa resistência à compressão.

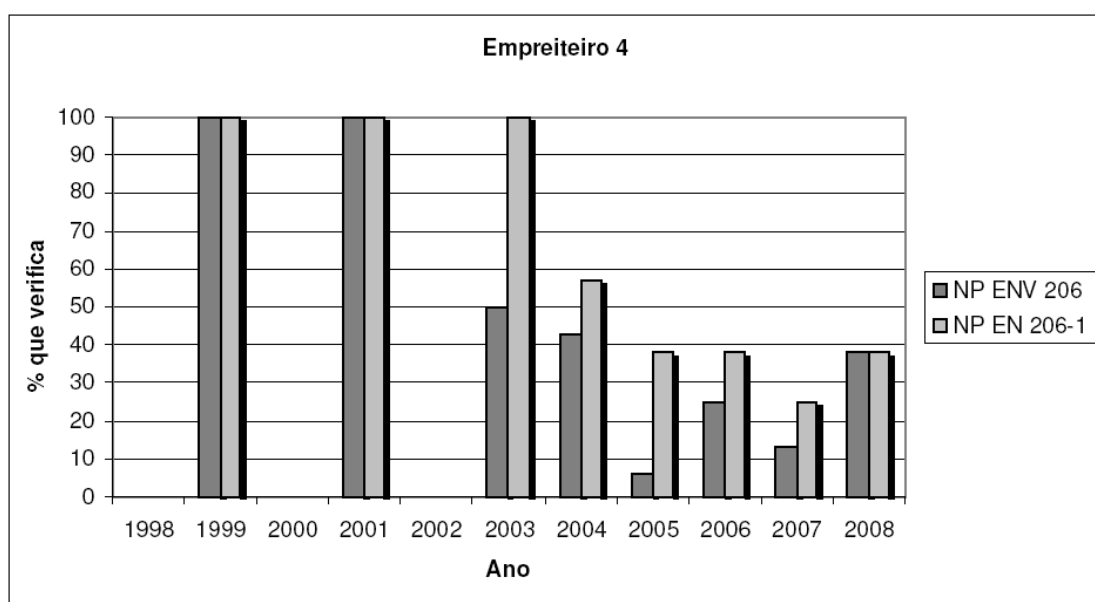


Figura 4.46 - Empreiteiro 4 em obras nos anos de 1998 a 2008, aplicando e verificando as normas NPENV 206 e NP EN 206-1

4.2.2 - Recolha de provetes e carotes em dez obras do distrito de Braga

Com base nos resultados alcançados na recolha em 10 obras de 10 provetes e 3 carotes, fez-se então a análise dos mesmos. Os 10 provetes foram analisados combinando resultados, segundo as normas NP EN 206-1 [1], NP ENV 206 [2] e as americanas ACI 318 [3] e ACI 214R-02 [4]. As 3 carotes foram analisadas segundo as normas NP EN 13791 [66] e a americana ASTM C42 [60].

4.2.2.1 - Análise dos resultados segundo as normas NP EN 206-1 [1] e NP ENV 206 [2]

Com o objectivo de avaliar a qualidade dos estaleiros, procedeu-se à determinação de um índice. Neste ponto, propõe-se a adopção de uma nova metodologia para classificação dos estaleiros. Assim, calculou-se um coeficiente de estaleiro (c.e.) dividindo o coeficiente de variação (V) por 10 e pela diferença da tensão obtida em relação à tensão característica (dT):

$$c.e. = \frac{V}{10dT} \quad (4.1)$$

Com base nesse coeficiente alcançado, classificou-se então o estaleiro em ‘Excelente’ se o coeficiente desse de 0,05 para baixo, em ‘Muito Bom’ se o coeficiente desse de 0,05 até 0,10, em ‘Bom’ se o coeficiente desse de 0,10 até 0,20, em ‘Razoável’ se o coeficiente desse de 0,20 até 0,40 e em ‘Mau’ se o coeficiente desse igual ou superior a 0,40, ou inferior a 0. Classificaram-se os estaleiros utilizando primeiro os provetes (Quadro 4.2) e depois as carotes (Quadro 4.3), e compararam-se as classificações obtidas. Foram ainda realizados inquéritos, apresentados no anexo, aos respectivos encarregados das 10 obras.

Na obra 1, quer com provetes, quer com carotes, a classificação do estaleiro foi ‘Mau’. Nesta obra e após resposta aos inquéritos, constatou-se que os trabalhadores não tinham experiência na execução de provetes. Assim, verificava-se que não os faziam de imediato, logo aquando da chegada do betão à obra. Além disso, conservavam-nos ao ar livre. O facto de esperar algum tempo para começar a executar os provetes, leva a que ao voltar a trabalhar o betão, as ligações entre as partículas constituintes do betão que se formam no imediato, na concepção dos provetes irão ser quebradas, levando a que ao ser ensaiado tenha uma resistência à compressão inferior à real. Além disso, os provetes depois de conservados em local húmido, devem ser desmoldados e encaminhados imediatamente para laboratório. Aqui, os trabalhadores esperam até três dias para o fazerem. Este é mais um factor a contribuir para a diminuição da resistência à compressão dos provetes. Os provetes apresentavam também muito má aparência, com muitos vazios, correspondendo a uma deficiente vibração. Quanto à peça betonada, de onde foram retiradas as carotes, foi-nos referido durante o inquérito que a

agulha do vibrador na execução dos elementos da estrutura era erradamente introduzida na totalidade no betão, levando assim a uma deficiente vibração e conseqüentemente a uma menor resistência à compressão.

Quadro 4.2 - Classificação do estaleiro com base nos provetes

Provetes	Tensão característica [TC] (MPa)	Tensão obtida [TO] (MPa)	10dT [10(TO-TC)] (MPa)	Média (MPa)	Desvio Padrão (MPa)	Coefficiente variação [V] (%)	Estaleiro [V/(10dT)]	Classificação do estaleiro
Obra 1	25	16,7	-83,0	18,8	0,71	3,78	-0,05	Mau
Obra 2	25	26,2	12,0	28,6	1,10	3,85	0,32	Razoável
Obra 3	25	22,6	-24,0	24,5	0,89	3,63	-0,15	Mau
Obra 4	30	30,9	9,0	33,3	1,52	4,56	0,51	Mau
Obra 5	15	18,7	37,0	20,9	1,13	5,41	0,15	Bom
Obra 6	15	12,7	-23,0	14,8	0,35	2,36	-0,10	Mau
Obra 7	25	27,8	23,0	30,5	2,23	7,31	0,32	Razoável
Obra 8	37	37,4	4,0	40,3	2,70	6,70	1,68	Mau
Obra 9	25	30,5	55,0	33,2	1,40	4,22	0,08	Muito Bom
Obra 10	20	18,8	-12,0	21,2	0,80	3,77	-0,31	Mau

Quadro 4.3 - Classificação do estaleiro com base nas carotes

Carotes	Tensão característica [TC] (MPa)	Tensão obtida [TO] (MPa)	10dT [10(TO-TC)] (MPa)	Média (MPa)	Desvio Padrão (MPa)	Coefficiente variação [V] (%)	Estaleiro [V/(10dT)]	Classificação do estaleiro
Obra 1	25	23,9	-11,0	23,1	1,02	4,42	-0,40	Mau
Obra 2	25	25,1	1,0	24,1	0,66	2,74	2,74	Mau
Obra 3	25	27,7	27,0	26,3	0,96	3,65	0,14	Bom
Obra 4	30	40,2	102,0	34,4	0,06	0,17	0,00	Excelente
Obra 5	15	16,0	10,0	17,2	3,61	20,99	2,10	Mau
Obra 6	15	14,5	-5,0	16,8	0,34	2,02	-0,41	Mau
Obra 7	25	34,9	99,0	32,4	1,32	4,07	0,04	Excelente
Obra 8	37	47,3	103,0	38,7	1,61	4,16	0,04	Excelente
Obra 9	25	32,7	77,0	30,5	3,98	13,05	0,17	Bom
Obra 10	20	23,9	39,0	23,1	2,13	9,22	0,24	Razoável

Na obra 2, com provetes, a classificação do estaleiro foi 'Razoável' e com carotes foi 'Mau'. Após resposta aos inquéritos, constatou-se que os trabalhadores não tinham experiência na execução de provetes. Apesar disso, verificava-se que os faziam de imediato, logo aquando da chegada do betão à obra e cobriam-nos após a sua concepção. Os trabalhadores esperaram até três dias para enviarem os provetes para laboratório. Os provetes apresentavam uma razoável aparência, com alguns vazios. Quanto à peça betonada, foi-nos referido no inquérito que a agulha do vibrador na execução dos elementos da estrutura nunca era introduzida na totalidade no betão, tendo a peça no final apresentado uma vibração mais ou menos uniforme, conforme se pode comprovar comparando os resultados das carotes do centro 24,6 MPa, meio 24,2 MPa e esquina 23,3 MPa. Podemos concluir daqui que realmente o betão não era de muito boa qualidade.

Na obra 3, com provetes, a classificação do estaleiro foi 'Mau' e com carotes foi 'Bom'. Nesta obra e após resposta aos inquéritos, constatou-se que os trabalhadores quase sempre realizavam provetes nas suas obras. No entanto, verificava-se que não os faziam de imediato, logo aquando da chegada do betão à obra. Além disso, conservavam-nos ao ar livre. Os trabalhadores esperaram até três dias para enviarem os provetes para laboratório. Este é mais um factor a contribuir para a diminuição da resistência à compressão dos provetes. Os provetes apresentavam também muito má aparência, com muitos vazios, correspondendo a uma deficiente vibração. Quanto à peça betonada, foi-nos referido no inquérito que a agulha do vibrador na execução dos elementos da estrutura nunca era introduzida na totalidade no betão, tendo a peça no final apresentado uma vibração mais ou menos uniforme, conforme se pode comprovar comparando os resultados das carotes do centro 27,4 MPa, meio 25,8 MPa e esquina 25,7 MPa. Esta diferença entre a classificação do estaleiro nos provetes e nas carotes fica a dever-se em grande parte também ao facto da peça de onde foram retiradas as carotes ter sido concebida pelo Encarregado da Obra e os provetes terem sido feitos por um servente.

Na obra 4, com provetes, a classificação do estaleiro foi 'Mau' e com carotes foi 'Excelente'. Nesta obra e após resposta aos inquéritos, constatou-se que os trabalhadores tinham alguma experiência na execução de provetes. Assim, verificava-se que não os faziam de imediato, logo aquando da chegada do betão à obra. Apesar disso, conservavam-nos cobertos. Os

trabalhadores esperaram até três dias para enviarem os provetes para o laboratório. Os provetes apresentavam também má aparência, com vazios, correspondendo a uma deficiente vibração. Quanto à peça betonada, foi-nos referido durante o inquérito que a agulha do vibrador na execução dos elementos da estrutura era erradamente introduzida na totalidade no betão, levando assim a uma deficiente vibração e conseqüentemente a uma menor resistência à compressão. Quanto à peça betonada, foi-nos referido no inquérito que a agulha do vibrador na execução dos elementos da estrutura nunca era introduzida na totalidade no betão, tendo a peça no final apresentado uma vibração muito uniforme, conforme se pode comprovar comparando os resultados das carotes do centro 34,3 MPa, meio 34,5 MPa e esquina 34,4 MPa. Esta diferença entre a classificação do estaleiro nos provetes e nas carotes fica a dever-se em grande parte também ao facto da peça de onde foram retiradas as carotes ter sido concebida pelo Encarregado da Obra e os provetes terem sido feitos por um servente.

A obra 5 apresentou uma muito melhor classificação do estaleiro com provetes, 'Bom', do que com carotes, 'Mau'. Nesta obra e após resposta aos inquéritos, constatou-se que os trabalhadores não tinham experiência na execução de provetes. Verificava-se apesar disso que os faziam de imediato, logo aquando da chegada do betão à obra. Além disso, para os conservar cobriam-nos. Os trabalhadores esperaram até três dias para enviarem os provetes para laboratório. Os provetes apresentavam muito boa aparência, correspondendo a uma adequada vibração. Quanto à peça betonada, foi-nos referido durante o inquérito que a agulha do vibrador na execução dos elementos da estrutura era erradamente introduzida na totalidade no betão, levando assim a uma muito fraca vibração e conseqüentemente a uma menor resistência à compressão, conforme se pode comprovar comparando os dispares resultados das carotes do centro 20,4 MPa, meio 17,9 MPa e esquina 13,3 MPa.

Na obra 6, com provetes e carotes a classificação do estaleiro foi 'Mau'. Nesta obra e após resposta aos inquéritos, constatou-se que os trabalhadores não tinham experiência na execução de provetes. Verificava-se apesar disso que os faziam de imediato, logo aquando da chegada do betão à obra. Além disso, para os conservar cobriam-nos. Os trabalhadores esperaram até três dias para enviarem os provetes para laboratório. Os provetes apresentavam muito boa aparência, correspondendo a uma óptima vibração. Quanto à peça betonada,

foi-nos referido durante o inquérito que a agulha do vibrador na execução dos elementos da estrutura era erradamente introduzida na totalidade no betão, levando assim a uma fraca vibração e conseqüentemente a uma menor resistência à compressão.

Na obra 7, com provetes, a classificação do estaleiro foi 'Razoável' e com carotes foi 'Excelente'. Nesta obra e após resposta aos inquéritos, constatou-se que os trabalhadores tinham alguma experiência na execução de provetes. Verificava-se que não os faziam de imediato, logo aquando da chegada do betão à obra. Além disso, conservavam-nos ao ar livre. Os trabalhadores esperaram mais de três dias para os enviarem para laboratório. Os provetes apresentavam também má aparência, com vazios, correspondendo a uma deficiente vibração. Quanto à peça betonada, foi-nos referido no inquérito que a agulha do vibrador na execução dos elementos da estrutura nunca era introduzida na totalidade no betão, tendo a peça no final apresentado uma vibração uniforme, conforme se pode comprovar comparando os resultados das carotes do centro 33,6 MPa, meio 32,6 MPa e esquina 31,0 MPa.

Na obra 8, com provetes, a classificação do estaleiro foi 'Mau' e com carotes foi 'Excelente'. Nesta obra e após resposta aos inquéritos, constatou-se que os trabalhadores tinham alguma experiência na execução de provetes. Assim, verificava-se que não os faziam de imediato, logo aquando da chegada do betão à obra. Os provetes são conservados ao ar livre. Os trabalhadores esperaram mais de três dias para enviarem os provetes para o laboratório. Os provetes apresentavam também má aparência, com vazios, correspondendo a uma deficiente vibração. Quanto à peça betonada, foi-nos referido durante o inquérito que a agulha do vibrador na execução dos elementos da estrutura era erradamente introduzida na totalidade no betão, levando assim a uma deficiente vibração e conseqüentemente a uma menor resistência à compressão. Quanto à peça betonada, foi-nos referido no inquérito que a agulha do vibrador na execução dos elementos da estrutura nunca era introduzida na totalidade no betão, tendo a peça no final apresentado uma vibração mais ou menos uniforme, conforme se pode comprovar comparando os resultados das carotes do centro 40,5 MPa, meio 38,3 MPa e esquina 37,3 MPa. Esta diferença entre a classificação do estaleiro nos provetes e nas carotes fica a dever-se em grande parte também ao facto da peça de onde foram retiradas as carotes ter sido concebida pelo encarregado da obra e os provetes terem sido feitos por um servente.

A obra 9 apresentou uma melhor classificação de estaleiro com provetes, 'Muito Bom', do que com carotes, 'Bom'. Nesta obra e após resposta aos inquéritos, constatou-se que os trabalhadores não tinham experiência na execução de provetes. Verificava-se apesar disso que os faziam de imediato, logo aquando da chegada do betão à obra. Além disso, para os conservar cobriam-nos. Os trabalhadores esperaram até três dias para enviarem os provetes para laboratório. Os provetes apresentavam uma razoável aparência, correspondendo a uma razoável vibração. Quanto à peça betonada, foi-nos referido durante o inquérito que a agulha do vibrador na execução dos elementos da estrutura era erradamente introduzida na totalidade no betão, levando assim a uma muito fraca vibração e conseqüentemente a uma menor resistência à compressão, conforme se pode comprovar comparando os dispares resultados das carotes do centro 33,4 MPa, meio 32,1 MPa e esquina 26,0 MPa. Esta diferença entre a classificação do estaleiro nos provetes e nas carotes fica a dever-se em grande parte também ao facto da peça de onde foram retiradas as carotes ter sido concebida por um servente e os provetes terem sido feitos pelo encarregado da obra.

Finalmente, na obra 10, com provetes, a classificação do estaleiro foi 'Mau' e com carotes foi 'Razoável'. Nesta obra e após resposta aos inquéritos, constatou-se que os trabalhadores não tinham experiência na execução de provetes. Verificava-se apesar disso que os faziam de imediato, logo aquando da chegada do betão à obra. Além disso, para os conservar cobriam-nos. Os trabalhadores esperaram até três dias para enviarem os provetes para laboratório. Os provetes apresentavam uma razoável aparência, correspondendo a uma razoável vibração. Quanto à peça betonada, foi-nos referido durante o inquérito que a agulha do vibrador na execução dos elementos da estrutura era erradamente introduzida na totalidade no betão, levando assim a uma fraca vibração e conseqüentemente a uma menor resistência à compressão.

Ao analisar todas as obras, pelas classificações obtidas para o estaleiro com os provetes, e comparando-as com as das carotes pode-se concluir que tecnicamente se falhou na execução dos provetes. Por outro lado, na classificação do estaleiro através das carotes, verifica-se que há 4 obras com o estaleiro com classificação de 'Mau', confirmando em duas delas, obras 1 e

6, a classificação obtida nos provetes, o que é um mau resultado para os betões analisados.

Conforme se pode constatar pelo Quadro 4.5, em 8 das 10 obras o resultado mais elevado verificou-se no centro da peça betonada, seguido do meio e por fim o resultado mais baixo verificou-se nas esquinas das peças, onde regra geral a peça fica pior vibrada. Só numa das obras, a obra 4, aquela que obteve o desvio padrão mais baixo, o centro da peça obteve o pior resultado, ainda que ligeiramente, tendo aqui o meio da peça obtido o melhor resultado. Isto vem provar que a vibração do betão nas obras não é perfeita. Noutra peça, a da obra 10, o segundo melhor resultado foi obtido na esquina da peça e o pior resultado foi obtido no meio da peça. No entanto, no centro da peça, o resultado é superior em 4 MPa do que no resto da peça. Isto vem-nos mostrar que se trata de mais uma peça mal vibrada. Como exemplos de mais obras com peças mal vibradas temos as obras 5 e 9, uma vez que aqui, nas duas obras, a diferença entre a carote da esquina e a carote do meio é de aproximadamente 7 MPa. De realçar que as obras 5 e 9 são as únicas que apresentam uma classificação do estaleiro superior com provetes do que com carotes. Daqui se pode concluir que existe uma grande deficiência no fabrico e execução de provetes. Apesar de nalguns casos se verificar o mesmo na concepção de elementos betonados, nunca chega a ser tão grave como nos provetes. Aqui os trabalhadores esmeraram-se na sua concepção, pois por um lado saía fora do habitual método de avaliação do betão, e por outro, uma qualquer avaliação que daí resultasse, na óptica deles, não convinha que lhes trouxesse problemas futuros. Assim, o falhanço nalguns resultados passa mais pela deficiente mão-de-obra na aplicação do betão, do que pela qualidade do próprio betão. De igual forma, o bom resultado na classificação do estaleiro nalgumas obras fica a dever-se em grande parte à boa qualidade do betão, superando as más práticas da aplicação do mesmo. O melhor exemplo disso é a obra 7, onde apesar dos provetes apresentarem muitos vazios devido à deficiente vibração, os resultados da resistência à compressão são satisfatórios. Podemos ainda concluir que, o facto da maior parte do betão passar a ser fornecido por centrais de produção com certificação do seu controlo de produção é uma forte garantia da qualidade do betão.

O procedimento adoptado no controlo da conformidade para a resistência à compressão foi feito de acordo com a norma NP EN 206-1 [1], na globalidade, fazendo-se a comparação das combinações da actual norma com as da anterior norma, ou seja, a NP ENV 206 [2]. Utilizaram-se o mesmo tipo de cálculos efectuados no número 4.1.4. Para as várias

combinações possíveis de efectuar com os 10 resultados de cada obra, aplicaram-se as normas NP EN 206-1 [1] e NP ENV 206 [2].

Tal como já referimos anteriormente, de acordo com a Norma NP EN 206-1 [1], aplicando os critérios de conformidade da resistência à compressão dos ensaios de identidade existem para cada obra 10 resultados (considerou-se que um resultado é composto por um provete), 45 combinações de 2 resultados cada, 120 combinações de 3 resultados cada, 210 combinações de 4 resultados cada, 250 combinações de 5 resultados cada e 210 combinações de 6 resultados cada (Quadro 4.4). Em relação às carotagens, foram feitas 3 por obra. Facto curioso a referir, é o de, em geral, a resistência ser maior no centro da peça e menor na esquina, o que nos leva a concluir mais uma vez, sobre problemas de vibração do betão na altura da betonagem (Quadro 4.5). Analisando obra a obra (Figura 4.47), podemos dizer que as obras 7 e 8, logo seguidas pelas obras 4 e 9, foram aquelas que apresentaram um mais variado leque de resultados, conforme se pode provar pela maior diferença nestas obras entre o percentil 25 e o 75. A que apresenta um desvio padrão mais baixo é a obra 6, seguida da 1 e da 10.

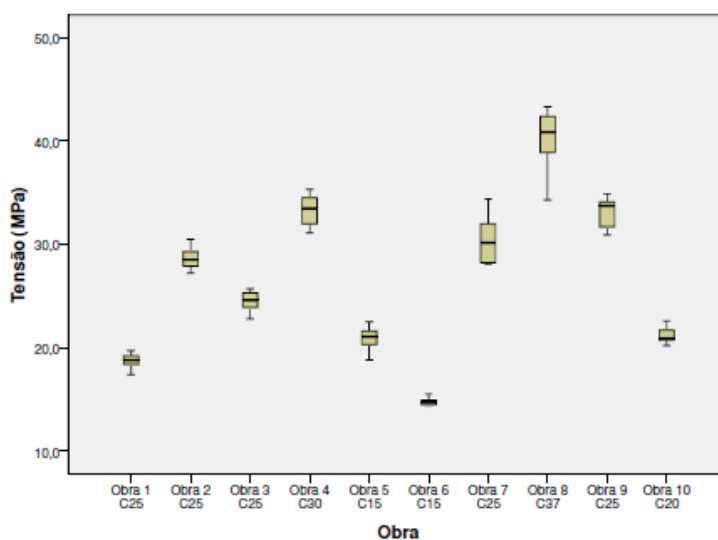


Figura 4.47 - Evolução do betão nas 10 obras

Quadro 4.4 - Percentagem de resultados que verificam as normas NP EN 206-1 e
NP ENV 206

	Resultados provetes cúbicos (f _a)										Percentagem de combinações de resultados que verificam a NP EN 206-1 (%)					Percentagem de combinações de resultados que verificam a NP ENV 206 (%)				
	R1	R2	R3	R4	R5	R6	R7	R8	R9	R10	C2	C3	C4	C5	C6	C2	C3	C4	C5	C6
Obra 1 (C20/25)	18,4	18,6	18,9	18,0	18,9	19,2	19,7	17,4	18,7	19,7	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0		0,0	0,0	0,0	0,0
Obra 2 (C20/25)	27,3	28,0	30,5	27,2	27,9	28,5	29,3	30,0	29,2	28,5	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0		0,0	0,0	0,0	100,0
Obra 3 (C20/25)	24,6	23,5	24,9	23,9	25,3	25,3	24,4	25,7	22,8	24,6	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0		0,0	0,0	0,0	0,0
Obra 4 (C25/30)	34,5	34,4	32,0	34,9	35,3	34,3	31,1	31,7	32,3	32,7	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0					100,0
Obra 5 (C12/15)	20,3	21,1	22,5	20,4	21,3	21,6	19,6	22,1	18,8	21,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0		95,0	98,6	100,0	100,0
Obra 6 (C12/15)	14,4	14,8	14,9	15,5	15,1	14,4	14,9	14,6	14,5	14,6	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0		0,0	0,0	0,0	0,0
Obra 7 (C20/25)	28,1	33,2	34,4	30,4	28,1	29,9	31,7	32,0	28,2	29,3	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0		100,0	100,0	100,0	100,0
Obra 8 (C30/37)	41,9	38,9	43,3	42,4	40,0	42,7	34,3	38,0	41,0	40,7	88,9	95,0	99,0	94,0	99,0					14,8
Obra 9 (C20/25)	30,9	33,6	33,2	34,1	31,2	31,7	34,9	34,1	34,2	33,8	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0		100,0	100,0	100,0	100,0
Obra 10 (C16/20)	20,9	20,2	20,7	20,8	20,6	21,6	20,9	21,7	22,4	22,6	62,2	83,3	85,7	0,0	0,0		0,0	0,0	0,0	100,0

Quadro 4.5 - Análise das carotes segundo a norma NP EN 13791

	Resultados carotes cilíndricos ($f_{ci, is}$) (MPa)			$f_{ck, is}$ (MPa)	k	$f_{cm, is}$ (MPa)	$f_{ci, is, m en}$ (MPa)	Resistência "in situ" característica do betão, é o menor valor de:		Qual a classe de resistência à compressão do betão obtida?
	Centro	Esquina	Meio					$f_{ck, is} = f_{m(n), is} - k$	$f_{ck, is} = f_{is, menor} + 4$	
								(MPa)	(MPa)	
Obra 1 (C20/25)	24,17	22,14	23,00	17	7	23,10	22,14	16,10	26,14	C18/23
Obra 2 (C20/25)	24,60	23,31	24,23	17	7	24,05	23,31	17,05	27,31	C20/25
Obra 3 (C20/25)	27,43	25,71	25,85	17	7	26,33	25,71	19,33	29,71	C22/27
Obra 4 (C25/30)	34,34	34,37	34,46	21	7	34,39	34,34	27,39	38,34	C32/40
Obra 5 (C12/15)	20,44	13,32	17,95	10	7	17,24	13,32	10,24	17,32	C12/16
Obra 6 (C12/15)	17,15	16,55	16,59	10	7	16,76	16,55	9,76	20,55	C11/14
Obra 7 (C20/25)	33,65	31,03	32,60	17	7	32,43	31,03	25,43	35,03	C29/34
Obra 8 (C30/37)	40,49	37,35	38,27	26	7	38,70	37,35	31,70	41,35	C37/47
Obra 9 (C20/25)	33,46	26,00	32,12	17	7	30,53	26,00	23,53	30,00	C27/32
Obra 10 (C16/20)	25,58	21,94	21,83	14	7	23,12	21,83	16,12	25,83	C18/23

Começando pela Obra 1, obra de pequena dimensão de betão pronto, com certificação do controlo de produção, verificou-se que nenhuma combinação cumpriu os critérios de verificação da resistência à compressão do betão, em qualquer uma das normas, a NP EN 206-1 [1] e/ou a NP ENV 206 [2], quer sejam combinações de 2, 3, 4, 5 ou 6 resultados. A classe de betão de resistência à compressão pretendida era a C20/25. Aplicando a actual norma NP EN 206-1 [1], a tensão média mais elevada foi de 18,8 MPa e a mais baixa foi de 18,7 MPa. Aplicando a tensão média mais desfavorável no cálculo, a mais baixa, a classe de resistência obtida foi a C12/16. A tensão de resistência à compressão com o valor mais baixo foi de 17,4 MPa e o mais elevado foi de 19,7 (Figura 4.48). Em combinações de 2 resultados, para a norma NP EN 206-1 [1], o valor mais baixo foi de 16,7 MPa (C12/16) e o

mais elevado foi de 18,7 MPa (C14/18). Em combinações de 3 resultados, para as normas NP EN 206-1 [1] e NP ENV 206 [2], o valor mais baixo foi de 16,9 MPa (C12/16) e 14,9 MPa (C11/14) e o mais elevado foi de 18,5 MPa (C14/18) e 16,5 MPa (C12/16), respectivamente. Em combinações de 4 resultados, para as normas NP EN 206-1 [1] e NP ENV 206 [2], o valor mais baixo foi de 17,1 MPa (C13/17) e 15,1 MPa (C12/15) e o mais elevado foi de 18,4 MPa (C14/18) e 16,4 MPa (C12/16), respectivamente. Em combinações de 5 resultados, para as normas NP EN 206-1 [1] e NP ENV 206 [2], o valor mais baixo foi de 16,2 MPa (C12/16) e 15,2 MPa (C12/15), e o mais elevado foi de 17,3 MPa (C13/17) e 16,3 MPa (C12/16), respectivamente. Finalmente, em combinações de 6 resultados, para as normas NP EN 206-1 [1] e NP ENV 206 [2], o valor mais baixo foi de 16,3 MPa (C12/16) e 17,5 MPa (C13/17) e o mais elevado foi de 17,2 MPa (C13/17) e 18,4 MPa (C14/18), respectivamente. A média das tensões observadas nos provetes cúbicos foi de 18,8 MPa. Quanto à carotagem, em todas as obras, as carotes extraídas apresentavam 10 cm de diâmetro e 20 cm de altura. A média da resistência à compressão obtida, através das carotes cilíndricas, foi bastante maior, 23,1 MPa, correspondendo a uma classe de betão C18/23. Apesar da subida da resistência à compressão, não foi o suficiente para que verificassem os critérios de avaliação da resistência do betão. O betão era, de facto, de má qualidade. Em comparação, os resultados dos provetes e o das carotes da peça, levou-nos a concluir que, ainda assim, possivelmente os provetes não estariam bem executados e/ou conservados. De facto, apesar dos resultados mais ou menos uniformes, os provetes apresentavam bastantes vazios à superfície. Este aspecto foi confirmado pelo inquérito realizado, uma vez que era a primeira vez que aqueles trabalhadores tomavam conhecimento da execução de provetes de betão. Pelo contrário, a peça de betão, de onde foram extraídas as carotes, apresentou uma razoável execução e compactação, uma vez que os resultados das carotes do centro, esquina e meio apresentaram valores mais ou menos próximos.

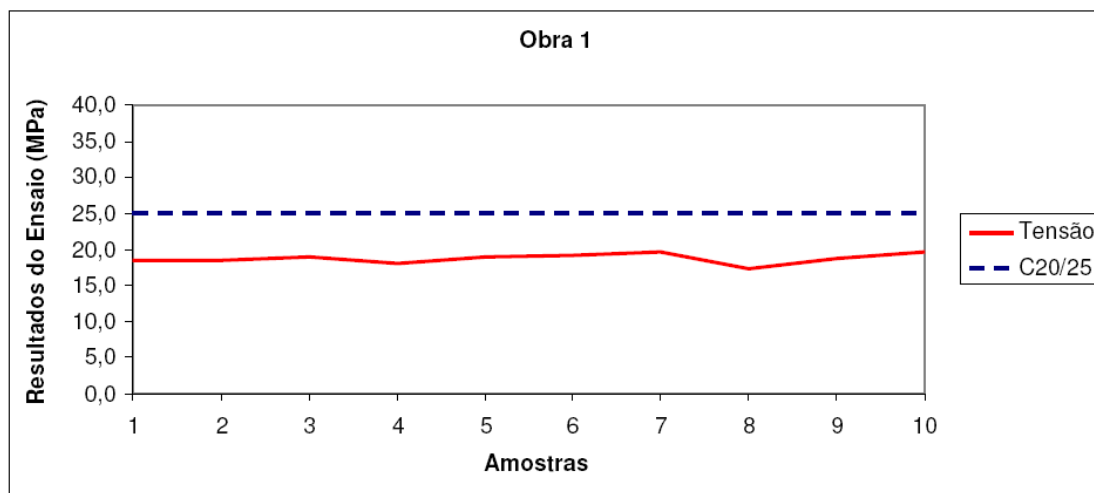


Figura 4.48 - Relação entre os resultados e a tensão característica na Obra 1

Para a Obra 2, de média dimensão, de betão fabricado em obra, verificou-se que, segundo a norma NP EN 206-1 [1], 29,17% das combinações cumpriu e 70,83% não cumpriu os critérios de verificação da resistência à compressão do betão, com combinações de 3 resultados. A classe de betão de resistência à compressão pretendida era a C20/25. Aplicando a actual norma NP EN 206-1 [1], a tensão média mais elevada foi de 28,6 MPa e a mais baixa foi de 28,2 MPa. Aplicando a tensão média mais desfavorável no cálculo, a mais baixa, a classe de resistência obtida foi a C21/26. A tensão de resistência à compressão com o valor mais baixo foi de 27,2 MPa e o mais elevado foi de 30,5 MPa (Figura 4.49). Para a norma NP EN 206-1 [1], o valor mais baixo da tensão de resistência à compressão do betão em combinações de 3 resultados, foi de 23,5 MPa (C18/23) e o mais elevado foi de 25,9 MPa (C20/25). Utilizando, agora, a norma NP ENV 206 [2], em combinações de 3 resultados, o valor mais baixo foi de 22,5 MPa (C17/22) e o mais elevado foi de 24,9 MPa (C19/24). Em combinações de 4 resultados, o valor mais baixo foi de 22,6 MPa (C17/22) e o mais elevado foi de 24,8 MPa (C19/24). Em combinações de 5 resultados, o valor mais baixo foi de 22,8 MPa (C17/22) e o mais elevado foi de 24,5 MPa (C19/24). Finalmente, em combinações de 6 resultados, o valor mais baixo para a tensão de resistência à compressão foi de 26,8 MPa (C21/26) e o mais elevado foi de 28,3 MPa (C23/28). Curiosamente, nesta norma, a NP ENV 206 [2], até às combinações de 5 resultados, nunca é verificada qualquer combinação, mas a partir das combinações de 6 resultados, todas elas verificam. A média das tensões observadas nos provetes cúbicos foi

de 28,6 MPa. Quanto à carotagem, a média da resistência à compressão obtida através das carotes cilíndricas, foi menor, 24,1 MPa, correspondendo a uma classe de betão C20/25. Trata-se, portanto, de betão de razoável qualidade, do qual foram fabricados provetes de valores uniformes e também de razoável qualidade. Já a peça de betão, da qual foram extraídas as carotes, além de aparentar bom aspecto, com ausência de vazios, deu resultados satisfatórios que verificaram os critérios de avaliação da resistência do betão, melhorando os resultados obtidos dos provetes, o suficiente para que o betão passasse a estar conforme.

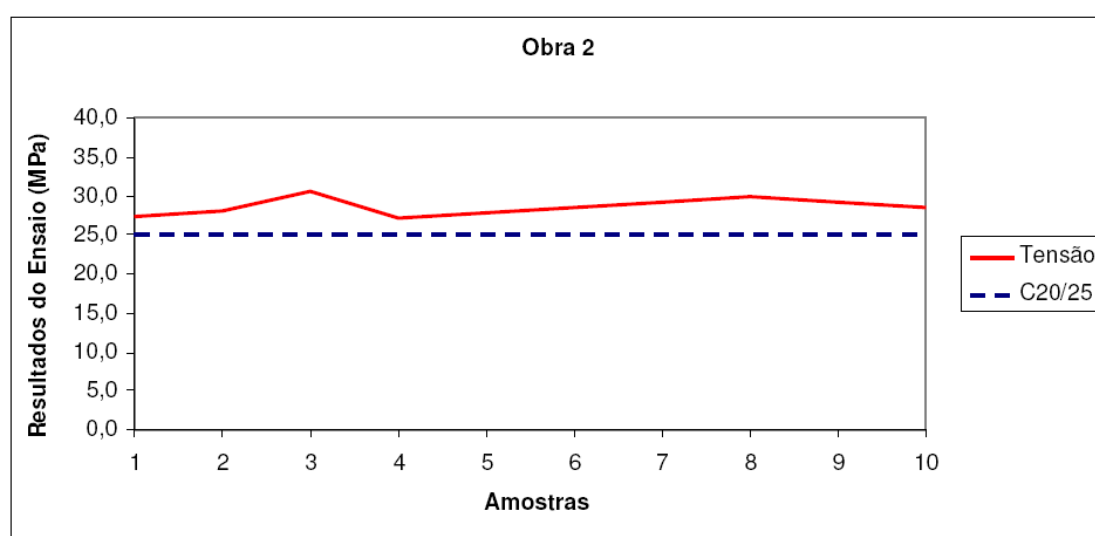


Figura 4.49 - Relação entre os resultados e a tensão característica na Obra 2

Para a Obra 3, obra de grande dimensão de betão pronto, com certificação do controlo de produção, verificou-se que nenhuma combinação cumpriu os critérios de verificação da resistência à compressão do betão, quer sejam combinações de 2, 3, 4, 5 ou 6 resultados. A classe de betão de resistência à compressão pretendida era a C20/25. Aplicando a actual norma NP EN 206-1 [1], a tensão média mais elevada foi de 24,6 MPa e a mais baixa foi de 24,5 MPa. Aplicando a tensão média mais desfavorável no cálculo, a mais baixa, a classe de resistência obtida foi a C17/22. A tensão de resistência à compressão com o valor mais baixo foi de 22,8 MPa e o mais elevado foi de 25,7 MPa (Figura 4.50). Para a norma NP EN 206-1 [1], em combinações de 2 resultados, o valor mais baixo foi de 22,2 MPa (C17/22) e o mais elevado foi de 24,5 MPa (C19/24). Em combinações de 3 resultados, para as normas NP EN 206-1 [1] e NP ENV 206 [2], o valor mais baixo foi de 22,4 MPa

(C17/22) e 20,4 MPa (C16/20) e o mais elevado foi de 24,4 MPa (C19/24) e 22,4 MPa (C17/22), respectivamente. Em combinações de 4 resultados, para as normas NP EN 206-1 [1] e NP ENV 206 [2], o valor mais baixo foi de 22,7 MPa (C17/22) e 20,7 MPa (C16/20) e o mais elevado foi de 24,3 MPa (C19/24) e 22,3 MPa (C17/22), respectivamente. Em combinações de 5 resultados, para as normas NP EN 206-1 [1] e NP ENV 206 [2], o valor mais baixo foi de 21,8 MPa (C16/21) e 20,8 MPa (C16/20) e o mais elevado foi de 23,2 MPa (C18/23) e 22,2 MPa (C17/22), respectivamente. Finalmente, em combinações de 6 resultados, para as normas NP EN 206-1 [1] e NP ENV 206 [2], o valor mais baixo foi de 22,0 MPa (C17/22) e 22,9 MPa (C17/22) e o mais elevado foi de 23,1 MPa (C18/23) e 24,0 MPa (C19/24), respectivamente. A média das tensões observadas nos provetes cúbicos foi de 24,5 MPa. Quanto à carotagem a média da resistência à compressão obtida, através das carotes cilíndricas, foi maior, 26,3 MPa, correspondendo a uma classe de betão C22/27.

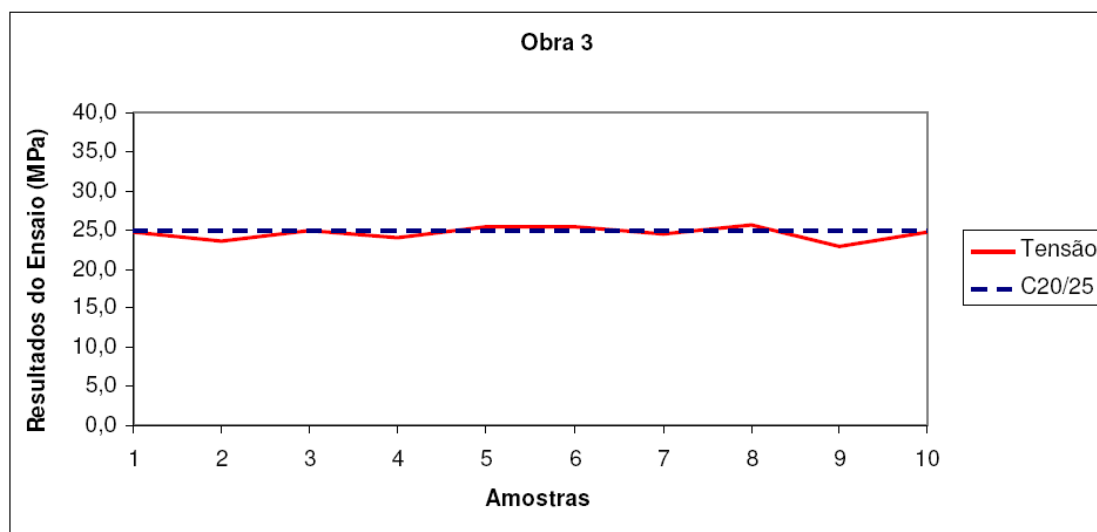


Figura 4.50 - Relação entre os resultados e a tensão característica na Obra 3

Trata-se, portanto, de betão de razoável qualidade, do qual foram fabricados provetes de valores uniformes, mas de fraca qualidade, uma vez que apresentavam muitos vazios. Já a peça de betão, da qual foram extraídas as carotes, além de aparentar um aspecto normal, deu resultados razoáveis que verificaram os critérios de avaliação da resistência do betão, contrariando os resultados dos provetes.

Para a Obra 4, obra de média dimensão de betão pronto, com certificação do controlo de produção, verificou-se que todas as combinações cumpriram os critérios de verificação da resistência à compressão do betão, quer em relação à norma NP EN 206-1 [1] ou à NP ENV 206 [2], quer sejam combinações de 2, 3, 4, 5 ou 6 resultados. A classe de betão de resistência à compressão pretendida era a C25/30. Aplicando a actual norma NP EN 206-1 [1], a tensão média mais elevada foi de 33,3 MPa e a mais baixa foi de 32,9 MPa. Aplicando a tensão média mais desfavorável no cálculo, a mais baixa, a classe de resistência obtida foi a C25/30. A tensão de resistência à compressão com o valor mais baixo foi de 31,1 MPa e o mais elevado foi de 35,3 MPa (Figura 4.51). Para a norma NP EN 206-1 [1], em combinações de 2 resultados, o valor mais baixo foi de 30,4 MPa (C25/30) e o mais elevado foi de 34,1 MPa (C27/34). Mas combinações de 3 resultados, o valor mais baixo foi de 30,6 MPa (C25/30) e o mais elevado foi de 33,9 MPa (C27/33). Em combinações de 4 resultados, o valor mais baixo foi de 30,8 MPa (C25/30) e o mais elevado foi de 33,8 MPa (C27/33). Para combinações de 5 resultados, o valor mais baixo foi de 30,0 MPa (C25/30) e o mais elevado foi de 32,7 MPa (C26/32). Finalmente, em combinações de 6 resultados, o valor mais baixo para a tensão de resistência à compressão foi de 30,4 MPa (C25/30) e o mais elevado foi de 32,4 MPa (C27/32). Segundo a norma NP ENV 206 [2], fizeram-se combinações de 6 resultados, uma vez que se tratava de uma classe de betão C25/30, em que o valor mais baixo para a tensão de resistência à compressão foi de 30,7 MPa (C25/30) e o mais elevado foi de 32,7 MPa (C27/32). A média das tensões observadas nos provetes cúbicos foi de 33,3 MPa. Quanto à carotagem, a média da resistência à compressão obtida através das carotes cilíndricas, foi muito maior, ou seja, 34,4 MPa, correspondendo a uma classe de betão C32/40. Trata-se, portanto, de betão de boa qualidade, do qual foram fabricados provetes de valores não uniformes e também de fraca qualidade. Já a peça de betão da qual foram extraídas as carotes, além de aparentar bom aspecto, com ausência de vazios, deu resultados satisfatórios que verificaram os critérios de avaliação da resistência do betão, contrariando os resultados dos provetes. O que nos leva a concluir que, possivelmente, os provetes não estariam bem executados.

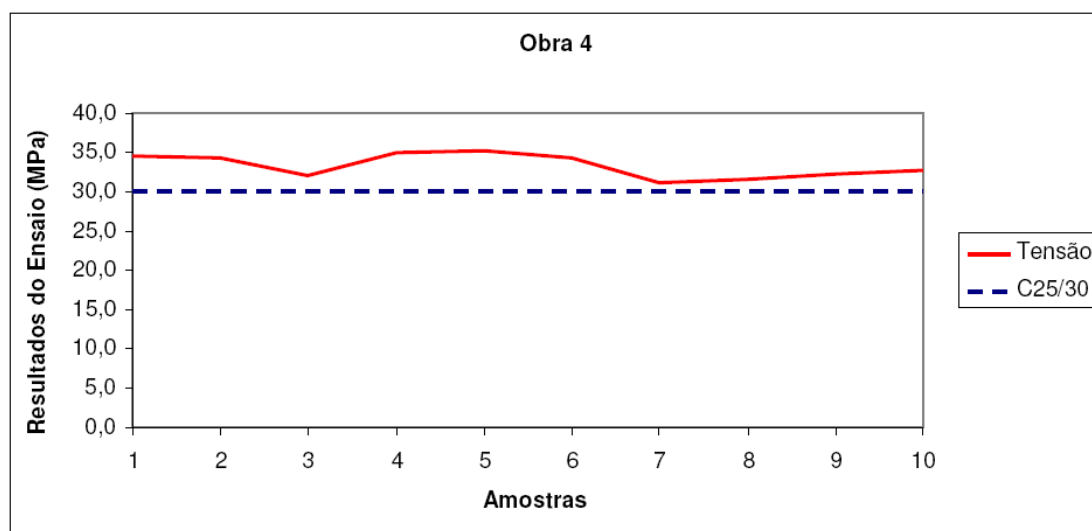


Figura 4.51 - Relação entre os resultados e a tensão característica na Obra 4

Para a Obra 5, obra de pequena dimensão de betão fabricado em obra, verificou-se que ao aplicar a norma NP EN 206-1 [1], todas as combinações cumpriram os critérios de verificação da resistência à compressão do betão, em combinações de 3 resultados. A classe de betão de resistência à compressão pretendida era a C12/15. Aplicando a actual norma NP EN 206-1 [1], a tensão média mais elevada foi de 20,9 MPa e a mais baixa foi de 20,7 MPa. Aplicando a tensão média mais desfavorável no cálculo, a mais baixa, a classe de resistência obtida foi a C14/18. A tensão de resistência à compressão com o valor mais baixo foi de 18,8 MPa e o mais elevado foi de 22,5 MPa (Figura 4.52). Para a norma NP EN 206-1 [1], o valor mais baixo da tensão característica de resistência à compressão do betão, em combinações de 3 resultados, foi de 15,6 MPa (C12/15) e o mais elevado foi de 18,1 MPa (C14/18). Aplicando a norma NP ENV 206 [2] em combinações de 3 resultados, 95 % das combinações cumpriram os critérios, sendo o valor mais baixo de 14,6 MPa (C11/14) e o mais elevado de 17,1 MPa (C13/17). Em combinações de 4 resultados, 98,57 % das combinações cumpriram os critérios, sendo o valor mais baixo de 14,8 MPa (C11/14) e o mais elevado de 16,9 MPa (C12/16).

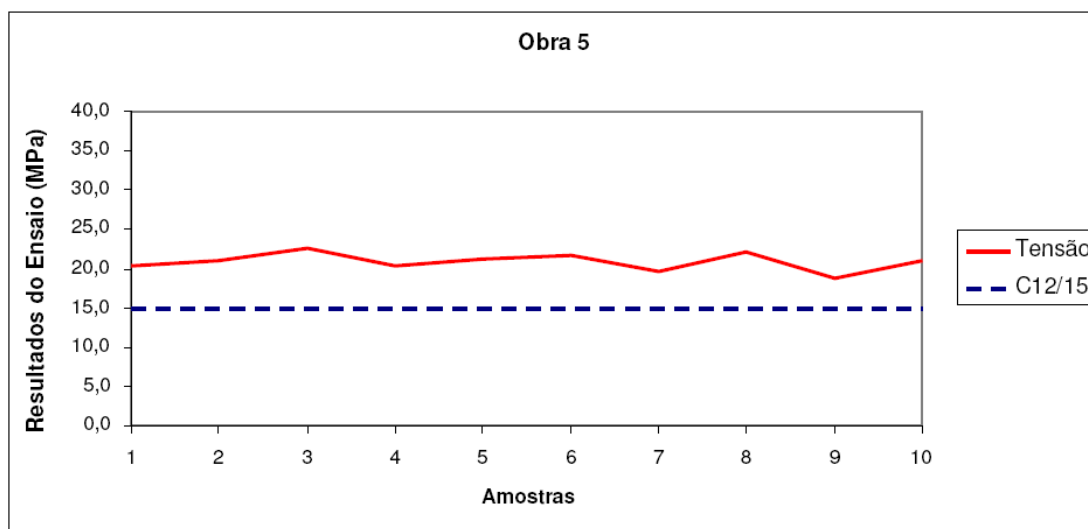


Figura 4.52 - Relação entre os resultados e a tensão característica na Obra 5

Em combinações de 5 resultados, todas as combinações cumpriram os critérios, sendo o valor mais baixo de 15,0 MPa (C12/15) e o mais elevado de 16,7 MPa (C12/16). Finalmente, em combinações de 6 resultados, todas as combinações cumpriram, igualmente os critérios, sendo o valor mais baixo para a tensão de resistência à compressão de 18,6 MPa (C14/18) e o mais elevado de 20,0 MPa (C16/20). A média das tensões observadas nos provetes cúbicos foi de 20,9 MPa. Quanto à carotagem, a média da resistência à compressão, obtida através das carotes cilíndricas, foi menor, ou seja, 17,2 MPa, correspondendo a uma classe de betão C12/16. Trata-se, pois, de betão de razoável qualidade, do qual foram fabricados provetes de valores uniformes e de boa qualidade. Já a peça de betão, da qual foram extraídas as carotes, além de dar fracos resultados que apesar de tudo, verificaram os critérios de avaliação da resistência do betão, esses resultados não eram uniformes, apresentando um valor muito baixo na esquina da peça. Isto leva-nos a concluir que a peça de betão estaria mal vibrada nas esquinas, revelando algum défice, por parte dos trabalhadores, neste campo da vibração.

Para a Obra 6, obra de pequena dimensão de betão pronto, com certificação do controlo de produção, ao aplicar as duas normas, a NP EN 206-1 [1] e a NP ENV 206 [2], verificou-se que nenhuma combinação, quer se trate de 2, 3, 4, 5 ou 6 resultados, cumpriu os critérios de verificação da resistência à compressão do betão. A classe de betão de resistência à

compressão pretendida era a C12/15. Aplicando a actual norma NP EN 206-1 [1], a tensão média mais elevada foi de 14,8 MPa e a mais baixa foi de 14,7 MPa. Aplicando a tensão média mais desfavorável no cálculo, a mais baixa, a classe de resistência obtida foi a C9/12. A tensão de resistência à compressão com o valor mais baixo foi de 14,4 MPa e o mais elevado foi de 15,5 MPa (Figura 4.53). Para a norma NP EN 206-1 [1], em combinações de 2 resultados, o valor mais baixo foi de 13,4 MPa (C10/13) e o mais elevado foi de 14,3 MPa (C11/14). Nas combinações de 3 resultados, para as normas NP EN 206-1 [1] e NP ENV 206 [2], o valor mais baixo foi de 13,4 MPa (C10/13) e 11,4 MPa (C8/11), e o mais elevado foi de 14,2 MPa (C11/14) e 12,2 MPa (C9/12), respectivamente. Para as combinações de 4 resultados, para as normas NP EN 206-1 [1] e NP ENV 206 [2], o valor mais baixo foi de 13,5 MPa (C10/13) e 11,5 MPa (C8/11) e o mais elevado foi de 14,1 MPa (C11/14) e 12,1 MPa (C9/12), respectivamente. Em combinações de 5 resultados, para as normas NP EN 206-1 [1] e NP ENV 206 [2], o valor mais baixo foi de 12,5 MPa (C9/12) e 11,5 MPa (C8/11) e o mais elevado foi de 13,0 MPa (C10/13) e 12,0 MPa (C9/12), respectivamente. Finalmente, nas combinações de 6 resultados, para as normas NP EN 206-1 [1] e NP ENV 206 [2], o valor mais baixo foi de 12,6 MPa (C9/12) e 14,3 MPa (C11/14), e o mais elevado foi de 13,0 MPa (C10/13) e 14,7 MPa (C11/14), respectivamente. A média das tensões observadas nos provetes cúbicos foi de 14,8 MPa. Quanto à carotagem, a média da resistência à compressão, obtida através das carotes cilíndricas, foi maior, ou seja 16,8 MPa, correspondendo a uma classe de betão C11/14, não atingindo a resistência característica. Trata-se, portanto, de betão de má qualidade, do qual foram fabricados provetes de valores uniformes e de boa qualidade. A peça de betão, da qual foram extraídas as carotes, além de aparentar também um bom aspecto, com ausência de vazios, deu resultados que não verificaram os critérios de avaliação da resistência do betão.

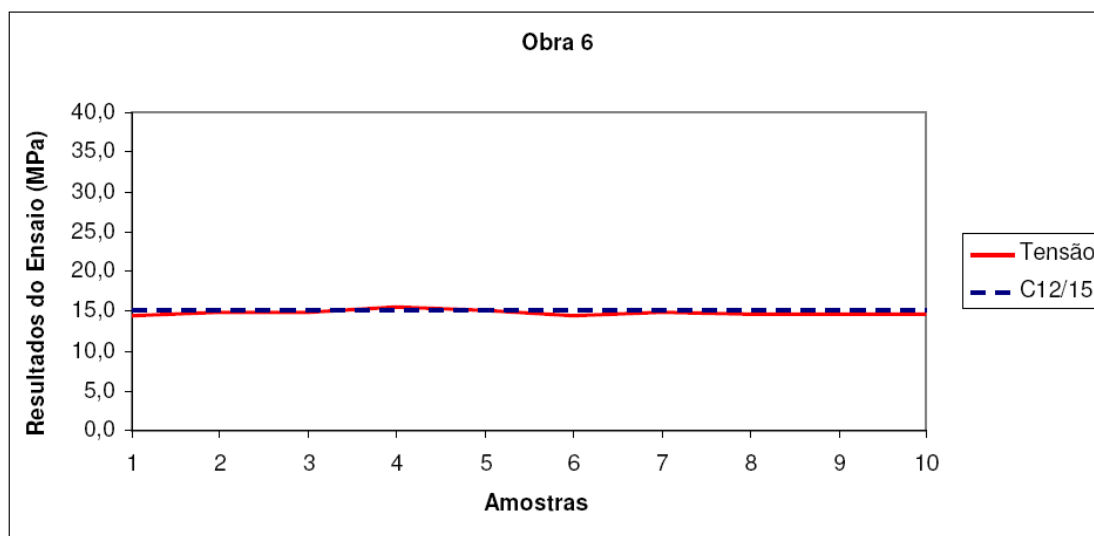


Figura 4.53 - Relação entre os resultados e a tensão característica na Obra 6

Para a Obra 7, obra de grande dimensão de betão pronto, com certificação do controlo de produção, ao aplicar as duas normas, a NP EN 206-1 [1] e a NP ENV 206 [2], verificou-se que todas as combinações cumpriram os critérios de verificação da resistência à compressão do betão, quer se tenha tratado de combinações de 2, 3, 4, 5 ou 6 resultados. A classe de betão de resistência à compressão pretendida era a C20/25. Aplicando a actual norma NP EN 206-1 [1], a tensão média mais elevada foi de 30,5 MPa e a mais baixa foi de 29,8 MPa. Aplicando a tensão média mais desfavorável no cálculo, a mais baixa, a classe de resistência obtida foi a C22/27. A tensão de resistência à compressão com o valor mais baixo foi de 28,1 MPa e o mais elevado foi de 34,4 MPa (Figura 4.54). Para a norma NP EN 206-1 [1], em combinações de 2 resultados, o valor mais baixo foi de 27,1 MPa (C22/27) e o mais elevado foi de 32,8 MPa (C27/32). Nas combinações de 3 resultados, para as normas NP EN 206-1 [1] e NP ENV 206 [2], o valor mais baixo foi de 27,1 MPa (C22/27) e 25,1 MPa (C20/25) e o mais elevado foi de 32,2 MPa (C27/32) e 30,2 MPa (C25/30), respectivamente. Para as combinações de 4 resultados, para as normas NP EN 206-1 [1] e NP ENV 206 [2], o valor mais baixo foi de 27,4 MPa (C22/27) e 25,4 MPa (C20/25) e o mais elevado foi de 31,8 MPa (C26/31) e 29,8 MPa (C24/29), respectivamente. Em combinações de 5 resultados, para as normas NP EN 206-1 e NP ENV 206, o valor mais baixo foi de 26,7 MPa (C21/26) e 25,7 MPa (C20/25) e o mais elevado foi de 30,3 MPa (C25/30) e 29,3 MPa (C24/29), respectivamente. Finalmente, nas

combinações de 6 resultados, para as normas NP EN 206-1 [1] e NP ENV 206 [2], o valor mais baixo foi de 27,0 MPa (C22/27) e 27,5 MPa (C22/27) e o mais elevado foi de 29,9 MPa (C24/29) e 30,4 MPa (C25/30), respectivamente. A média das tensões observadas nos provetes cúbicos foi de 30,5 MPa. Quanto à carotagem, a média da resistência à compressão, obtida através das carotes cilíndricas, foi maior, ou seja, 32,4 MPa, correspondendo a uma classe de betão C29/34. Trata-se, portanto, de betão de boa qualidade, do qual foram fabricados provetes de valores não uniformes e de muito má qualidade. Já a peça de betão, da qual foram extraídas as carotes, deu resultados satisfatórios que verificaram os critérios de avaliação da resistência do betão. O que nos leva a concluir que, possivelmente, os provetes não estariam bem executados e conservados. De facto, durante o tempo em que os provetes estiveram em obra, estes foram conservados ao ar livre, em contacto directo com o sol.

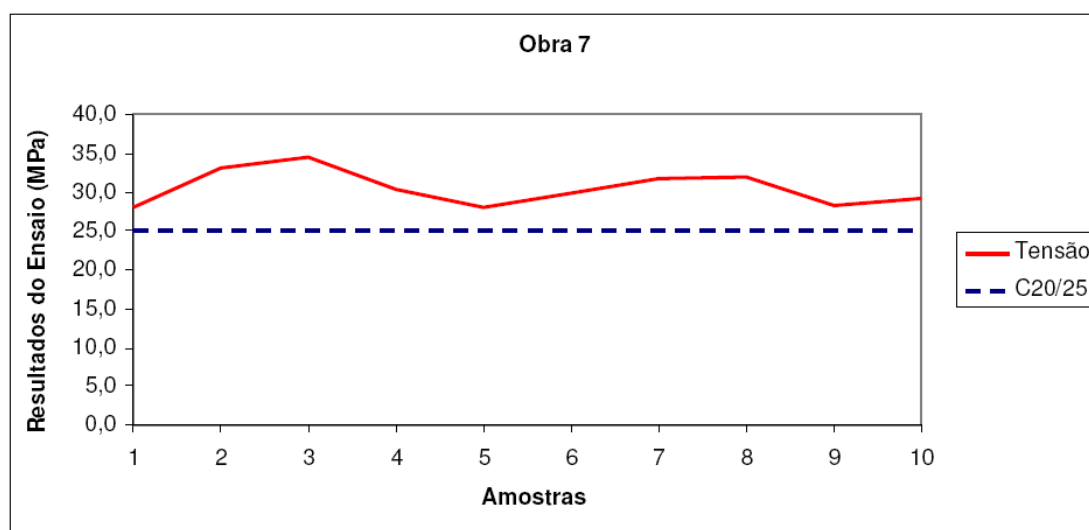


Figura 4.54 - Relação entre os resultados e a tensão característica na Obra 7

Para a Obra 8, obra de grande dimensão de betão pronto, com certificação do controlo de produção, nem sempre se verificou que fossem cumpridas todas as combinações para verificação da resistência à compressão do betão, quer nas combinações de 2, 3, 4, 5 ou 6 resultados. A classe de betão de resistência à compressão pretendida era a C30/37. Aplicando a actual norma NP EN 206-1 [1], a tensão média mais elevada foi de 40,3 MPa e a mais baixa foi de 39,4 MPa. Aplicando a tensão média mais desfavorável no cálculo, a

mais baixa, a classe de resistência obtida foi a C30/37. A tensão de resistência à compressão com o valor mais baixo foi de 34,3 MPa e o mais elevado foi de 43,3 MPa (Figura 4.55). Para a norma NP EN 206-1 [1], em combinações de 2 resultados, 88,89 % das combinações verificaram os critérios de conformidade e o valor mais baixo foi de 35,2 MPa (C28/35) e o mais elevado foi de 42,0 MPa (C33/42). Em combinações de 3 resultados, 95 % das combinações verificaram, sendo o valor mais baixo de 36,1 MPa (C29/36) e o mais elevado de 41,8 MPa (C33/41). Nas combinações de 4 resultados, 99 % das combinações verificaram, e o valor mais baixo foi de 36,8 MPa (C29/36) e o mais elevado foi de 41,6 MPa (C33/41). Para as combinações de 5 resultados, 94 % das combinações verificaram, e o valor mais baixo foi de 36,4 MPa (C29/36) e o mais elevado foi de 40,3 MPa (C32/40). Finalmente, nas combinações de 6 resultados, 99 % das combinações verificaram, e o valor mais baixo para a tensão de resistência à compressão foi de 36,8 MPa (C29/36) e o mais elevado foi de 40,0 MPa (C32/40). Para a norma NP ENV 206 [2], visto tratar-se de um betão de classe C30/37, só se estudou a combinação de 6 resultados. Neste caso, só 14,76 % cumpriram os critérios, em que o valor mais baixo para a tensão de resistência à compressão foi de 35,1 MPa (C28/35) e o mais elevado foi de 38,3 MPa (C30/38). A média das tensões observadas nos provetes cúbicos foi de 40,3 MPa. Quanto à carotagem a média da resistência à compressão obtida através das carotes cilíndricas, foi inferior, ou seja, 38,7 MPa, correspondendo a uma classe de betão C37/47. Trata-se, por conseguinte, de betão de boa qualidade, do qual foram fabricados provetes de valores não uniformes e de muito má qualidade. Já a peça de betão, da qual foram extraídas as carotes, deu resultados satisfatórios que verificaram os critérios de avaliação da resistência do betão, contrariando os resultados dos provetes, o que nos leva a concluir que, possivelmente, os provetes não estariam bem executados e conservados. Mais uma vez e tal como na obra 8, durante o tempo em que os provetes estiveram em obra, estes foram conservados ao ar livre, em contacto directo com o sol.

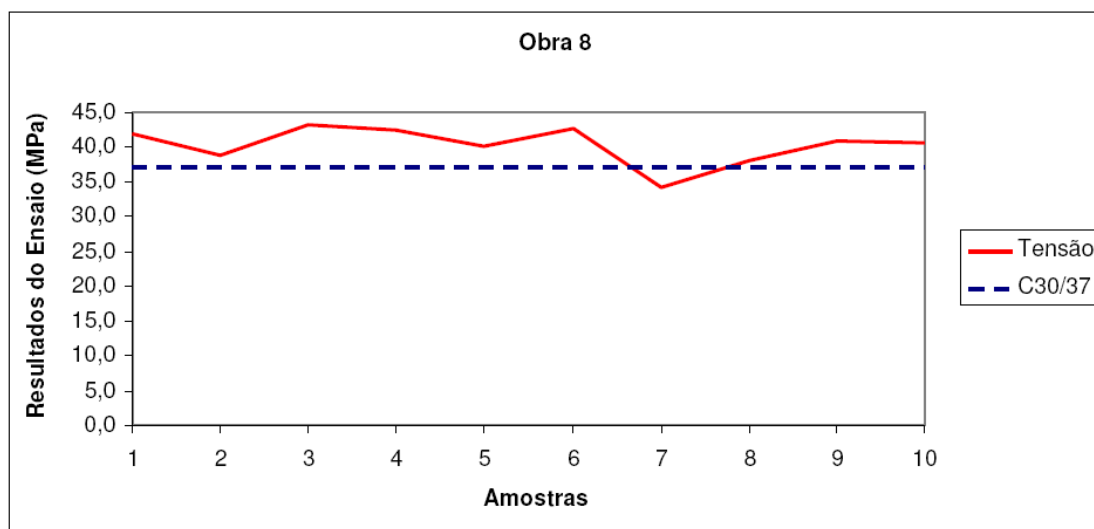


Figura 4.55 - Relação entre os resultados e a tensão característica na Obra 8

Para a Obra 9, obra de média dimensão de betão pronto, com certificação do controlo de produção, verificou-se que todas as combinações cumpriram os critérios de verificação da resistência à compressão do betão, quer tenham sido combinações de 2, 3, 4, 5 ou 6 resultados, quer se trate da norma NP EN 206-1 [1] ou da NP ENV 206 [2]. A classe de betão de resistência à compressão pretendida era a C20/25. Aplicando a actual norma NP EN 206-1 [1], a tensão média mais elevada foi de 33,2 MPa e a mais baixa foi de 32,5 MPa. Aplicando a tensão média mais desfavorável no cálculo, a mais baixa, a classe de resistência obtida foi a C25/30. A tensão de resistência à compressão com o valor mais baixo foi de 30,9 MPa e o mais elevado foi de 34,9 MPa (Figura 4.56). Para a Norma NP EN 206-1 [1], em combinações de 2 resultados, o valor mais baixo foi de 30,1 MPa (C25/30) e o mais elevado foi de 33,6 MPa (C27/33). Em combinações de 3 resultados, para as normas NP EN 206-1 [1] e NP ENV 206 [2], o valor mais baixo foi de 30,3 MPa (C25/30) e 28,3 MPa (C23/28), e o mais elevado foi de 33,4 MPa (C27/33) e 31,4 MPa (C25/31), respectivamente. Nas combinações de 4 resultados, para as normas NP EN 206-1 [1] e NP ENV 206 [2], o valor mais baixo foi de 30,8 MPa (C25/30) e 28,8 MPa (C23/28) e o mais elevado foi de 33,3 MPa (C27/33) e 31,3 MPa (C25/31), respectivamente. Para as combinações de 5 resultados, para as normas NP EN 206-1 [1] e NP ENV 206 [2], o valor mais baixo foi de 30,1 MPa (C25/30) e 29,1 MPa (C24/29) e o mais elevado foi de 32,2 MPa (C26/32) e 31,2 MPa (C25/31), respectivamente. Finalmente, nas combinações

de 6 resultados, para as normas NP EN 206-1 [1] e NP ENV 206 [2], o valor mais baixo foi de 30,4 MPa (C25/30) e 30,5 MPa (C25/30), e o mais elevado foi de 32,1 MPa (C26/32) e 32,2 MPa (C26/32), respectivamente. A média das tensões observadas nos provetes cúbicos foi de 33,2 MPa. Quanto à carotagem, a média da resistência à compressão obtida através das carotes cilíndricas, foi inferior, ou seja, 30,5 MPa, correspondendo a uma classe de betão C27/32. Trata-se, portanto, de betão de boa qualidade, do qual foram fabricados provetes de valores uniformes e também de razoável qualidade. Já a peça de betão, da qual foram extraídas as carotes, apesar de aparentar mau aspecto, deu resultados satisfatórios que verificaram os critérios de avaliação da resistência do betão, contrariando os resultados dos provetes. O facto de haver resultados bastante diferentes de umas carotes para as outras, retiradas da mesma peça, leva-nos a concluir que, possivelmente, a peça, de onde se retiraram as carotes, estaria mal vibrada. O resultado da carote da esquina era inferior aos outros. Mais uma vez, este facto foi confirmado pelo inquérito realizado, uma vez que aqueles trabalhadores não dominavam muito bem a técnica da vibração: vibravam sempre no mesmo sítio e com a agulha totalmente “enterrada” no betão.

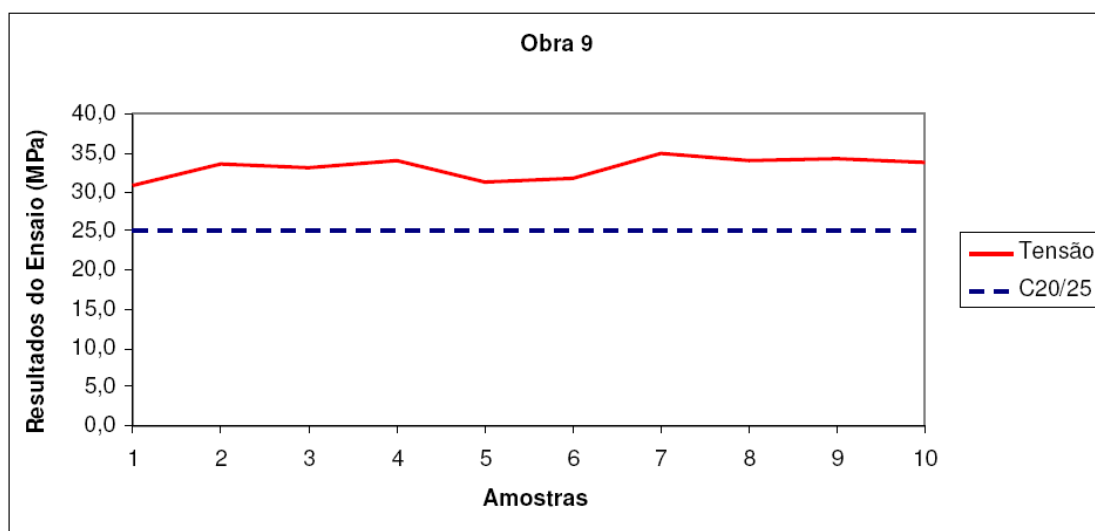


Figura 4.56 - Relação entre os resultados e a tensão característica na Obra 9

Para a Obra 10, obra de média dimensão de betão pronto, com certificação do controlo de produção, nem sempre se verificou que fossem cumpridas todas as combinações dos critérios para verificação da resistência à compressão do betão, quer se tenha tratado de

combinações de 2, 3, 4, 5 ou 6 resultados. A classe de betão de resistência à compressão pretendida era a C16/20. Aplicando a actual norma NP EN 206-1 [1], a tensão média mais elevada foi de 21,2 MPa e a mais baixa foi de 20,8 MPa. Aplicando a tensão média mais desfavorável no cálculo, a mais baixa, a classe de resistência obtida foi a C14/18. A tensão de resistência à compressão com o valor mais baixo foi de 20,2 MPa e o mais elevado foi de 22,6 MPa (Figura 4.57). Para a norma NP EN 206-1 [1], em combinações de 2 resultados, 62,22 % das combinações verificaram os critérios de conformidade e o valor mais baixo foi de 19,4 MPa (C15/19) e o mais elevado foi de 21,5 MPa (C16/21). Nas combinações de 3 resultados, 83,33 % das combinações verificaram e o valor mais baixo foi de 19,5 MPa (C15/19) e o mais elevado foi de 21,2 MPa (C16/21). Para as combinações de 4 resultados, 85,70 % das combinações verificaram e o valor mais baixo foi de 19,6 MPa (C15/19) e o mais elevado foi de 21,1 MPa (C16/21). Em combinações de 5 resultados, nenhuma combinação verificou os critérios e o valor mais baixo foi de 18,6 MPa (C14/18) e o mais elevado foi de 19,8 MPa (C15/19). Finalmente, nas combinações de 6 resultados, também nenhuma combinação verificou e o valor mais baixo para a tensão de resistência à compressão foi de 18,7 MPa (C14/18) e o mais elevado foi de 19,7 MPa (C15/19). Passando agora para a norma NP ENV 206 [2], nas combinações de 3 resultados, nenhuma combinação verificou, e o valor mais baixo foi de 19,5 MPa (C15/19) e o mais elevado foi de 21,2 MPa (C16/21). Em combinações de 4 resultados, também nenhuma combinação verificou, e o valor mais baixo foi de 19,6 MPa (C15/19) e o mais elevado foi de 21,1 MPa (C16/21). Para as combinações de 5 resultados, nenhuma combinação verificou, e o valor mais baixo foi de 18,6 MPa (C14/18) e o mais elevado foi de 19,8 MPa (C15/19). Finalmente, nas combinações de 6 resultados, todas as combinações verificaram, e o valor mais baixo para a tensão de resistência à compressão foi de 18,7 MPa (C14/18) e o mais elevado foi de 19,7 MPa (C15/19). A média das tensões observadas nos provetes cúbicos foi de 21,2 MPa. Quanto à carotagem, a média da resistência à compressão, obtida através das carotes cilíndricas, foi superior, ou seja, 23,1 MPa, correspondendo a uma classe de betão C18/23. Trata-se, pois, de betão de boa qualidade, do qual foram fabricados provetes de valores uniformes e também de razoável qualidade. Já a peça de betão, da qual foram extraídas as carotes, apesar de aparentar mau aspecto, deu resultados satisfatórios que verificaram os critérios de avaliação da resistência do betão, contrariando a não

conformidade dos resultados dos provetes. Mais uma vez, o facto de haver resultados bastante diferentes de umas carotes para as outras, retiradas da mesma peça, leva-nos a concluir que, possivelmente, a peça, de onde se retiraram as carotes, estaria mal vibrada. O resultado da carote da esquina era inferior aos outros. Nesta obra, mais uma vez, este facto foi confirmado pelo inquérito realizado, uma vez que aqueles trabalhadores não dominavam muito bem a técnica da vibração, vibrando sempre no mesmo sítio.

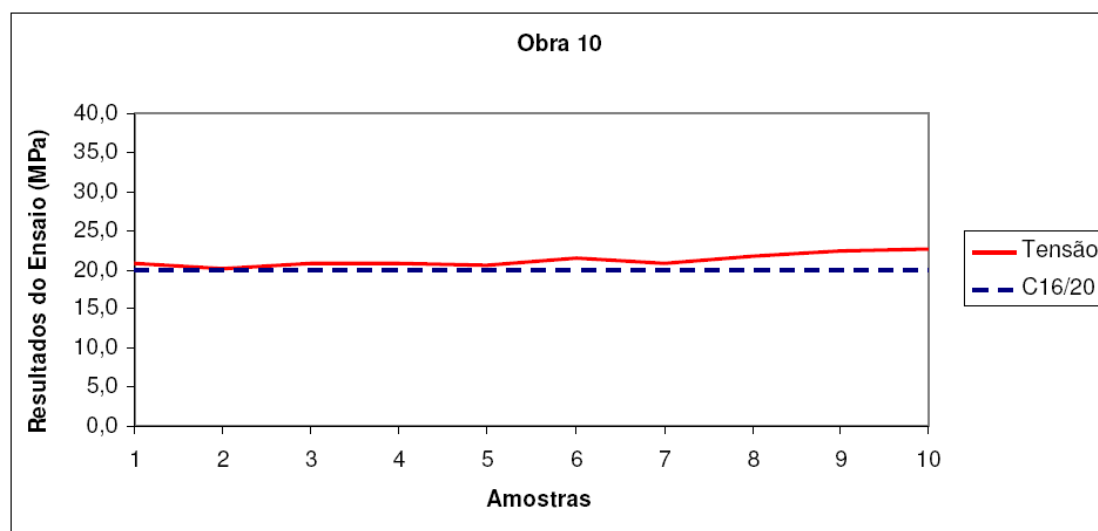


Figura 4.57 - Relação entre os resultados e a tensão característica na Obra 10

Na obra 2, em que utilizou betão feito em obra sem certificação do controlo de produção, analisando os resultados segundo a norma NP ENV 206 [2] verificamos que com combinações até 5 resultados, os critérios de conformidade da resistência à compressão nunca são cumpridos. No entanto, com combinações de 6 resultados esses mesmos critérios são sempre cumpridos. Isto deve-se ao facto das fórmulas de verificação da conformidade dos betões serem diferentes em combinações até 5 resultados ($f_{cm} = f_{ck} + 5$) daquelas que incluem combinações a partir de 6 resultados ($f_{cm} = f_{ck} + \lambda s_n$). Comparando as duas fórmulas constatamos que a primeira fórmula muito raramente é menos exigente do que a segunda, uma vez que para isso acontecer é necessário que a parcela λs_n seja superior a 5.

Pelo mesmo motivo na obra 10, na qual se aplicou betão pronto com certificação do controlo de produção, verificamos mais uma vez que, analisando os resultados segundo a

norma NP ENV 206 [2], com combinações até 5 resultados, os critérios de conformidade da resistência à compressão nunca são cumpridos e com combinações de 6 resultados esses mesmos critérios são sempre cumpridos. Tal como na obra 2, isto deve-se ao facto das fórmulas de verificação da conformidade dos betões serem diferentes em combinações até 5 resultados ($f_{cm} = f_{ck} + 3$) daquelas que incluem combinações a partir de 6 resultados ($f_{cm} = f_{ck} + \lambda s_n$). Embora aqui a margem seja mais apertada, ainda assim e comparando as duas fórmulas constatamos mais uma vez que a primeira fórmula muito raramente é menos exigente do que a segunda, uma vez que para isso acontecer é necessário que a parcela λs_n seja superior a 3.

Assim, podemos concluir com base na análise dos resultados das combinações efectuadas, e olhando em particular para a obra 5, que de 3 até 6 resultados, utilizando a fórmula ($f_{cm} = f_{ck} + 3$) para betão com certificação do controlo de produção, as possibilidades de uma combinação de resultados verificar os critérios de conformidade da resistência à compressão vão aumentando com o número de resultados, uma vez que se torna mais fácil diluir na média um possível mau resultado. No entanto, a partir dos 6 resultados, quanto maior for o número empregue numa combinação, as probabilidades de vir a cumprir os critérios de conformidade da resistência à compressão diminuem, uma vez que é expectável que o desvio padrão vá aumentando com o número de resultados, agravando o factor a somar à resistência característica ($f_{cm} = f_{ck} + \lambda s_n$), apesar de λ , entre os 6 e os 15 resultados ir diminuindo de valor, conforme se pode ver no Quadro 3.4. Tudo irá depender pois do valor do desvio padrão que se irá obter entre os 6 e os 15 resultados. Mas tendo como base este estudo, o ideal na anterior norma NP ENV 206 [2], para que os critérios de conformidade da resistência à compressão sejam cumpridos seria usar 6 resultados.

Quanto às combinações de resultados segundo a norma NP EN 206-1 [1] e tendo por base a análise das combinações de resultados nas obras 8 e 10, onde foi utilizado betão pronto com certificação do controlo de produção, verificamos que com combinações de 2 até 4 resultados, as possibilidades de verificação dos critérios de conformidade da resistência à compressão vão aumentando com o número de resultados ($f_{cm} = f_{ck} + 1$). Assim, constatou-se que com combinações de 4 resultados as possibilidades de verificação são

maiores do que com combinações de 3 resultados, e as possibilidades de verificação dos critérios com combinações de 3 resultados são maiores do que com combinações de 2 resultados, uma vez que, conforme já referido, torna-se mais fácil diluir na média um possível mau resultado. A partir de 5 resultados, a fórmula altera-se, passando a ser ($f_{cm} = f_{ck} + 2$), diminuindo as possibilidades de verificação dos critérios de conformidade da resistência à compressão, conforme seria de esperar. Isto deve-se ao facto do factor que na fórmula afecta a resistência característica a partir de 5 resultados ser 2, ao passo que para 2, 3 e 4 resultados é 1. Com base neste estudo, conclui-se portanto que ao aplicar a norma NP EN 206-1 [1], para que os critérios de conformidade da resistência à compressão sejam cumpridos o ideal seria usar 4 resultados.

No universo das dez obras analisadas e arriscando fazer uma análise similar à que se fez para os anos anteriores, segundo a NP EN 206-1 [1], constatou-se que o número de obras em que a classe do betão obtida é superior ou igual à classe exigida é 6 e o número de obras em que a classe do betão obtida é inferior à classe exigida é 4. Assim, as obras 1, 3, 6 e 10 não verificam os critérios de conformidade. Quanto às combinações, o número de ensaios em que a classe de betão obtida é superior à classe exigida, é bastante superior. Registaram-se problemas com a verificação dos critérios de conformidade nas obras 1, 3 e 6, nunca cumprindo, e alguns problemas nessa mesma verificação nas obras 8 e 10. Mais uma vez se verifica, comparando com a NP ENV 206 [2], que a norma actual é menos exigente na verificação dos critérios do controlo da conformidade do betão na resistência à compressão, tendo-se registado problemas de verificação nas obras 1, 2, 3, 6 e 10, nunca cumprindo e alguns problemas nas obras 5 e 8. Nas obras 1 e 6, dever-se-ia pedir ao projectista para verificar se haveria problemas para a estrutura, dado o facto dos valores reais de resistência à compressão do betão serem menores do que a resistência característica, incluindo os resultados obtidos nas carotagens. As obras 4, 7 e 9 foram aquelas em que em nenhum momento se registou algum problema de verificação dos critérios de conformidade de resistência à compressão. Pode concluir-se ainda que, com o aumento da dimensão da obra e o incremento da classe característica de betão, verificam-se, mais facilmente, os critérios de conformidade da resistência à compressão do betão, devido, inclusive, a um maior controlo.

4.2.2.2 - Aplicação das normas americanas ACI 318 [3], ACI 214R-02 [4] e ASTM C42 [61]

A aplicação das normas ACI 318 [3] e ACI 214R-02 [4] deve ser feita, tendo por base resultados de resistência à compressão de provetes cilíndricos. Neste estudo utilizaram-se provetes cúbicos, tendo-se feito à posteriori, de forma a permitir o estudo, a transposição dos resultados para provetes cilíndricos, com base na relação existente entre estes dois tipos de provetes, referente à classificação de classes de betão (ver nos anexos). De realçar que, apesar de em algumas obras não se verificarem os critérios de conformidade da resistência à compressão das normas americanas ACI 318 [3] e ACI 214R-02 [4], em relação à carotagem, segundo a norma americana ASTM C42 [61], todas elas cumpriram os critérios de verificação. Isto é, analisando as carotagens do betão “in situ”, segundo a norma americana ASTM C42 [61], todos os betões das 10 obras em estudo são dados como conformes (Quadro 4.6). Ao estudar a conformidade do betão através da carotagem, torna-se mais fácil dizer que um betão está conforme aplicando a norma americana ASTM C42 [61]. Já, ao aplicar a norma NP EN 13791 [67] (Quadro 4.5), constatou-se que os betões das obras 1 e 6 não estavam conformes.

Para o cálculo da resistência média alvo temos 3 critérios. No critério 1, o projectista especifica o número máximo de resultados que não verificam. Neste caso optamos por 10%. No critério 2, o projectista especifica o número máximo de ensaios consecutivos que não verificam. No critério 3, o projectista especifica a probabilidade de um resultado aleatório nunca ficar abaixo da resistência à compressão especificada. Dentro desses três critérios, existem dois tipos de cálculo: segundo o desvio padrão, ou segundo o coeficiente de variação. Como resistência média alvo adoptou-se sempre o valor mais elevado, conforme descrito na norma ACI 214R-02 [4].

Quadro 4.6 - Análise das carotes segundo a norma ASTM C42 [61]

	Resultados carotes cilíndricos ($f_{c, is}$) (MPa)			$f_{ck, is}$ (MPa)	$f_{cm, is}$ (MPa)	$f_{ci, is, men}$ (MPa)	$f_{cm, is} / 0,85$ (MPa)	$f_{ci, is, men} / 0,75$ (MPa)	Condições de verificação	
	Centro	Esquina	Meio						$f_{cm, is} / 0,85 \geq f_{ck, is}$	$f_{ci, is, men} / 0,75 \geq f_{ck, is}$
Obra 1 - C20/25	24,17	22,14	23,00	20	23,10	22,14	27,18	29,52	✓	✓
Obra 2 - C20/25	24,60	23,31	24,23	20	24,05	23,31	28,29	31,08	✓	✓
Obra 3 - C20/25	27,43	25,71	25,85	20	26,33	25,71	30,98	34,28	✓	✓
Obra 4 - C25/30	34,34	34,37	34,46	25	34,39	34,34	40,46	45,79	✓	✓
Obra 5 - C12 /15	20,44	13,32	17,95	12	17,24	13,32	20,28	17,76	✓	✓
Obra 6 - C12/15	17,15	16,55	16,59	12	16,76	16,55	19,72	22,07	✓	✓
Obra 7 - C20/25	33,65	31,03	32,60	20	32,43	31,03	38,15	41,37	✓	✓
Obra 8 - C30/37	40,49	37,35	38,27	30	38,70	37,35	45,53	49,80	✓	✓
Obra 9 - C20/25	33,46	26,00	32,12	20	30,53	26,00	35,91	34,67	✓	✓
Obra 10 - C16/20	25,58	21,94	21,83	16	23,12	21,83	27,20	29,11	✓	✓

Na obra 1, após aplicação das normas americanas ACI 318 [3] e ACI 214R-02 [4], era pretendido um betão C20/25, tendo-se obtido um betão C13/17, não verificando, portanto, os critérios de conformidade. Estes resultados deveriam ser transmitidos ao projectista para que ele pudesse avaliar a situação, dando o seu parecer relativamente à segurança da estrutura, ou ainda, caso assim o entenda, a apresentação de soluções para tornar a estrutura segura. Depois de analisados os resultados da extracção de carotes, em último caso, após avaliação do risco e caso assim o entenda, o projectista pode indicar a demolição da mesma. Na obra 2, após aplicação das normas americanas ACI 318 [3] e ACI 214R-02 [4], era pretendido um betão C20/25, tendo-se obtido um betão C22/27, verificando, portanto, os critérios de conformidade. Na obra 3, era pretendido um betão C20/25, tendo-se obtido um betão C18/23, não verificando, pois, os critérios de conformidade. Estes resultados deveriam ser transmitidos ao projectista para que ele pudesse avaliar a situação, dando o

seu parecer relativamente à segurança ou não da estrutura, ou ainda, caso assim o entenda, a apresentação de soluções para tornar a mesma segura. Em último caso, após avaliação do risco e caso assim o entenda, o projectista pode indicar a demolição da mesma. Na obra 4, após aplicação das normas americanas ACI 318 [3] e ACI 214R-02 [4], era pretendido um betão C25/30, tendo-se obtido um betão C25/31, verificando, portanto, os critérios de conformidade. Na obra 5, após aplicação das normas americanas ACI 318 [3] e ACI 214R-02 [4], era pretendido um betão C12/15, tendo-se obtido um betão C15/19, verificando, portanto, os critérios de conformidade. Na obra 6, após aplicação das normas americanas ACI 318 [3] e ACI 214R-02 [4], era pretendido um betão C12/15, tendo-se obtido um betão C11/14, não verificando, por conseguinte, os critérios de conformidade. Estes resultados deveriam ser transmitidos ao projectista, para que ele pudesse avaliar a situação, dando o seu parecer relativamente à segurança ou não da estrutura da construção, ou ainda, caso assim o entenda, a apresentação de soluções para tornar a estrutura segura. Em último caso, após avaliação do risco e caso assim o entenda, o projectista pode indicar a demolição da mesma. Na obra 7, após aplicação das normas americanas ACI 318 [3] e ACI 214R-02 [4], era pretendido um betão C20/25, tendo-se obtido um betão C22/27, verificando, portanto, os critérios de conformidade. Na obra 8, após aplicação das normas americanas ACI 318 [3] e ACI 214R-02 [4], era pretendido um betão C30/37, tendo-se obtido um betão C29/36, não verificando, portanto, os critérios de conformidade. Estes resultados deveriam ser transmitidos ao projectista para que ele pudesse avaliar a situação, dando o seu parecer relativamente à segurança ou não da estrutura da construção, ou ainda, caso assim o entenda, a apresentação de soluções para tornar a estrutura segura. Em último caso, após avaliação do risco e caso assim o entenda, o projectista pode indicar a demolição da mesma. Na obra 9, após aplicação das normas americanas ACI 318 [3] e ACI 214R-02 [4], era pretendido um betão C20/25, tendo-se obtido um betão C25/31, verificando, pois, os critérios de conformidade. Na obra 10, após aplicação das normas americanas ACI 318 [3] e ACI 214R-02 [4], era pretendido um betão C16/20, tendo-se obtido um betão C16/20, verificando, portanto, os critérios de conformidade.

4.2.2.3 - Análise global da aplicação das normas aos resultados das 10 obras em estudo

Ao fazer a análise da conformidade da resistência à compressão em 10 obras, aplicando a actual norma NP EN 206-1 [1], constatou-se que em 6 obras se verificou a conformidade e nas outras 4 não. Quanto às combinações, estudou-se, de um modo geral, a aplicação das normas NP EN 206-1 [1], NP ENV 206 [2], ACI 318 [3] e ACI 214R-02 [4], NP EN 13791 [67] e ASTM C42 [61] aos resultados obtidos das 10 obras onde se procedeu, em cada uma delas, à recolha de 10 provetes e 3 carotes. Aplicando somente a actual norma NP EN 206-1 [1], em 5 obras verificaram-se sempre os critérios de conformidade da resistência à compressão, em 2 obras verificaram-se às vezes e noutras 3 obras nunca se verificaram. Aplicando a norma NP ENV 206 [2], em 3 obras verificaram-se sempre os critérios de conformidade da resistência à compressão, em 4 obras verificaram-se às vezes e nas outras 3 obras nunca se verificaram. Com as normas americanas ACI 318 [3] e ACI 214R-02 [4], em 6 obras verificaram-se os critérios de conformidade da resistência à compressão e em 4 não se verificaram. No que se refere às carotagens, aplicando a norma NP EN 13791 [67], em 8 obras atingiu-se a classe de betão pretendida e em 2 obras não. Aplicando a norma americana ASTM C42 [61], nas 10 obras atingiu-se a classe de betão pretendida.

Constatou-se que, normalmente nas obras para a execução dos provetes, são escolhidos aqueles trabalhadores que, durante a betonagem, estão mais desocupados. Por regra, são aqueles que são menos qualificados, como, por exemplo, os serventes. Daí se explicar, em grande parte, a má concepção de muitos provetes. Esta relação obtida, em que os resultados da resistência à compressão, ao contrário do que seria de esperar, são, em regra geral, superiores nas carotes do que nos cubos, são validados pelo gráfico da Figura 4.58. Conforme se pode constatar nesse gráfico, só uma obra (obra 6) fica na triângulo inferior. Isto significa que na obra 6 a tensão obtida é maior nos provetes do que nas carotes.

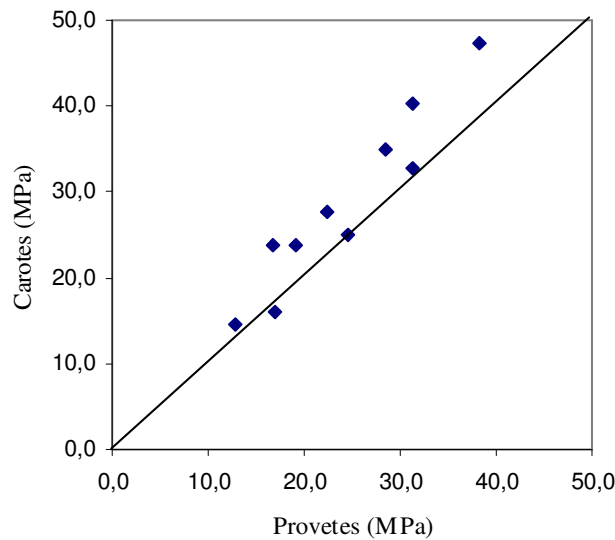


Figura 4.58 - Relação entre os resultados de resistência das carotes e os dos cubos

Regra geral, as normas americanas verificam mais facilmente do que a NP EN 206-1 [1] e a anterior NP ENV 206 [2], devido ao factor 1,48 e λ , respectivamente, que afectam o desvio padrão. Na NP EN 206-1 [1], numa central de produção, a média de, pelo menos, 15 resultados obtidos, tem que respeitar o seguinte critério: $f_{cm} \geq f_{ck} + 1,48 \sigma$. Na anterior norma NP ENV 206 [2], a partir de 6 resultados, quanto maior fosse o número de resultados obtido, mais baixa era a resistência pretendida. Isto fica a dever-se ao λ que, conforme se pode constatar no Quadro 3.4, vai diminuindo com o aumento do número de resultados: $f_{cm} \geq f_{ck} + \lambda s_n$. Quando existem 15 resultados para analisar a conformidade da resistência à compressão do betão, o λ é igual a 1,48, sendo igual a resistência pretendida, quer para a actual norma NP EN 206-1 [1], quer para a antiga norma NP ENV 206 [2]. Nas normas americanas, para o cálculo da resistência pretendida, temos o critério 1, em que o projectista especifica o número máximo de resultados que não verificam. No critério 2, o projectista especifica o número máximo de ensaios consecutivos que não verificam. No critério 3, o projectista especifica a probabilidade de um número máximo aleatório de resultados poder ficar abaixo da resistência especificada. A resistência pretendida vai depender, nestes casos, do desvio padrão, do coeficiente de variação e dos valores estipulados pelo projectista, para cada um dos critérios. Dependendo do valor pretendido

pelo projectista, assim será o valor z a afectar as fórmulas, conforme se pode constatar no Quadro 3.12. Este valor z será tanto maior, quanto maior for o limite do número de resultados proposto em projecto, pelo projectista, que não irão verificar. Assim, para que as normas americanas sejam mais exigentes que a NP EN 206-1 [1], para o critério 1, o valor z teria que ser superior ao valor da resistência pretendida na norma portuguesa, a subtrair pela resistência característica e a dividir pelo desvio padrão. Para o critério 2, o valor z teria que ser superior ao valor da resistência pretendida na norma europeia, a subtrair pela resistência característica, multiplicando pela raiz quadrada de 3 e a dividir pelo desvio padrão. Para o critério 3, o valor z teria que ser superior ao valor da resistência pretendida na norma portuguesa, a subtrair pela resistência característica, somando o valor de 3,5 e a dividir pelo desvio padrão.

Pode concluir-se ainda do Quadro 4.7, que quanto maior for a dimensão da obra e quanto maior for a classe do betão em causa, mais rapidamente se verificam os critérios de conformidade da resistência à compressão do betão.

Quadro 4.7 - Verificação das normas nas obra

	Classe do betão	Dimensão da obra	Combinações de Provetes				Carotagem	
			Classe obtida	NP EN 206-1	NP ENV 206	ACI 318 e ACI 214R-02	NP EN 13791	ASTM C42
Obra 1	C20/25	Pequena	C12/16	x	x	x	x	✓
Obra 2	C20/25	Média	C21/26	✓	●	✓	✓	✓
Obra 3	C20/25	Grande	C17/22	x	x	x	✓	✓
Obra 4	C25/30	Média	C25/30	✓	✓	✓	✓	✓
Obra 5	C12/15	Pequena	C14/18	✓	●	✓	✓	✓
Obra 6	C12/15	Pequena	C9/12	x	x	x	x	✓
Obra 7	C20/25	Grande	C22/27	✓	✓	✓	✓	✓
Obra 8	C30/37	Grande	C30/37	●	●	x	✓	✓
Obra 9	C20/25	Média	C25/30	✓	✓	✓	✓	✓
Obra 10	C16/20	Média	C14/18	●	●	✓	✓	✓

Legenda: ✓ - Verifica sempre; ● - Nem sempre verifica; x - Nunca verifica

4.2.3 - Análise da central de produção

Analisando agora a central de produção, o período de avaliação da conformidade da resistência à compressão foi de um trimestre, que é o tempo ali usado para monitorizar os indicadores dos processos que constituem o seu sistema de gestão da qualidade. A central de produção possui certificação do controlo de produção, tendo uma produção diária aproximada de 75 m³ de betão. Daí que seja necessário, no mínimo, uma amostra por semana. A central de produção tem definido recolher três amostras por semana, escolhendo sempre aleatoriamente a classe de betão, mas procurando aquela que se prevê que complete 75 m³ de produção. O resultado de cada amostra é dado pela média de resultados individuais de três provetes. O que se pode constatar, é que a verificação dos critérios de conformidade para a resistência à compressão e para a consistência, estão no limite. Verificam sempre, mas existe o risco de, ao mínimo descuido, deixarem de verificar. Pode-se concluir daqui, que existe a tentativa de maximizar o lucro. Nas Figuras 4.59, 4.60 e 4.61, onde é analisada a resistência à compressão de todas as amostras em relação à resistência característica, para cada uma das classes de betão C16/20, C20/25 e C25/30, pode-se verificar isso mesmo: as tensões obtidas pouco maiores são que a resistência característica.

Pela Figura 4.62 podemos dizer que em todas as classes, a mediana está acima do pretendido betão de referência. A maior é a da classe C25/30, o que mais uma vez prova o maior cuidado que é posto no fabrico de classes de betão mais elevadas. Pode concluir-se o oposto também, haver um menor cuidado no fabrico de classes de betão mais baixas, pelo facto de na classe C16/20 haver uma grande diferença entre o percentil 75 e o 25.

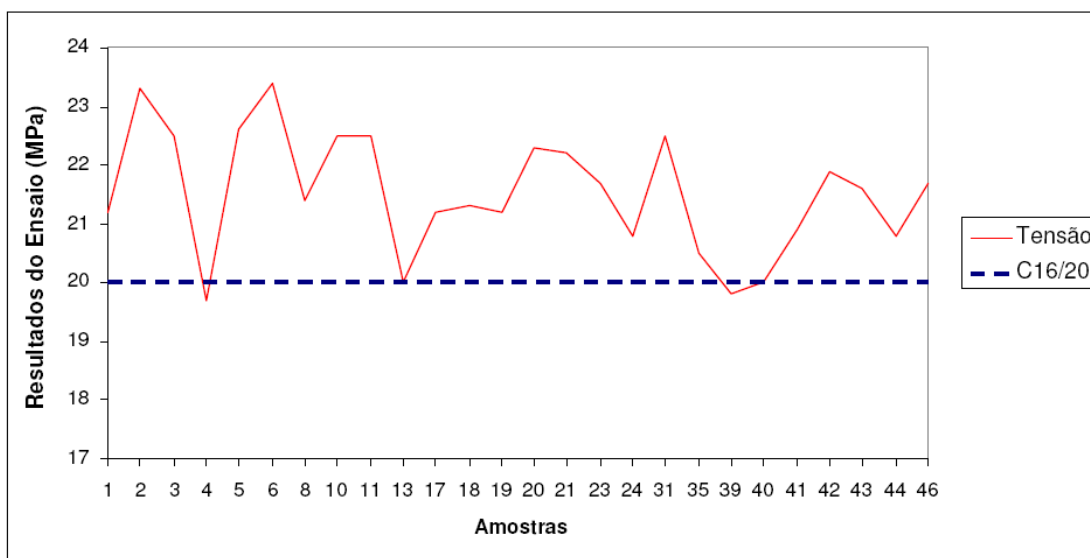


Figura 4.59 - Relação na central de produção entre os resultados e a tensão característica da classe C16/20

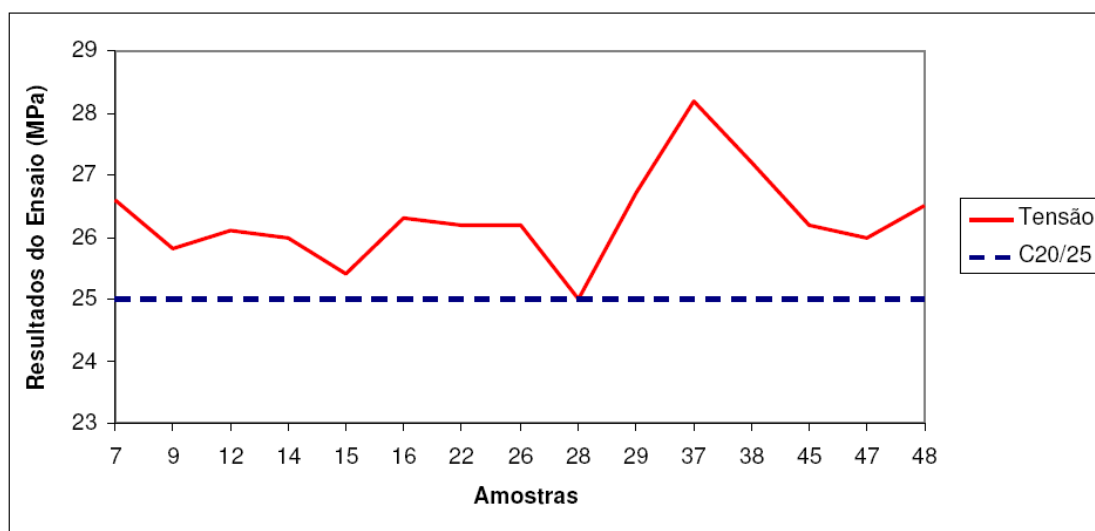


Figura 4.60 - Relação na central de produção entre os resultados e a tensão característica da classe C20/25

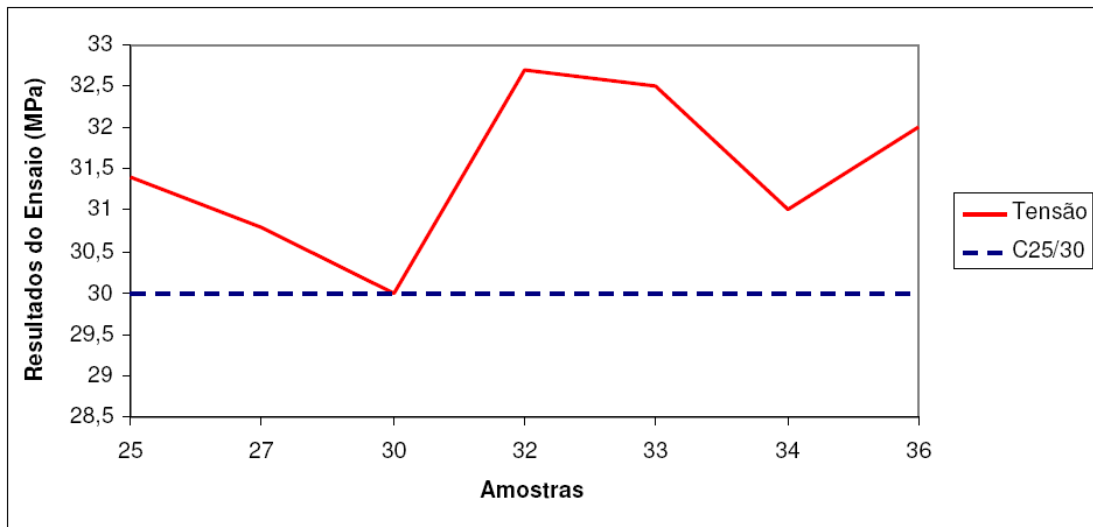


Figura 4.61 - Relação na central de produção entre os resultados e a tensão característica da classe C25/30

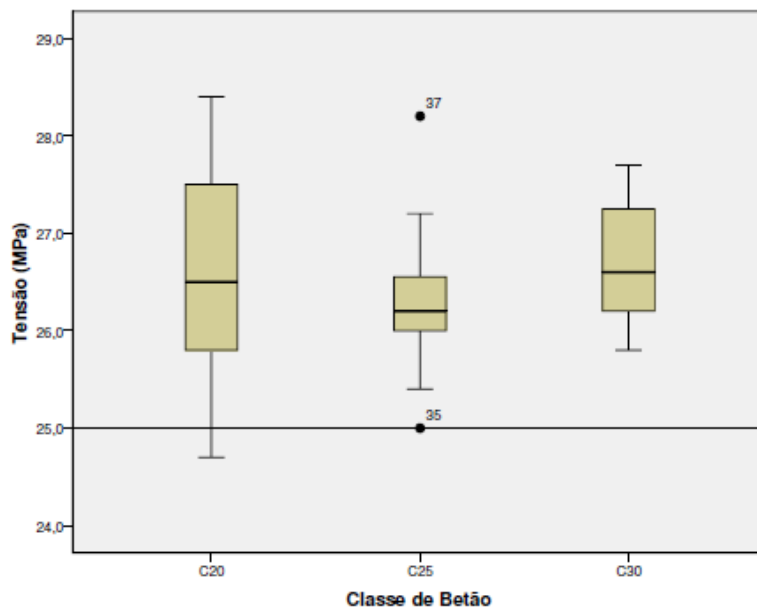


Figura 4.62 - Evolução das classes C16/20, C20/25 e C25/30 na central de produção

4.2.3.1 - Análise dos resultados segundo a norma NP EN 206-1 [1]

a) Produção inicial

Embora não esteja contemplado na central, o estudo da produção inicial foi efectuado de um modo exemplificativo, estudando o controlo da conformidade, segundo duas hipóteses: com sobreposição e sem sobreposição. Como se pode constatar, a utilização da sobreposição de resultados é uma metodologia mais exigente, uma vez que o resultado de uma amostra é utilizado mais do que uma vez nos critérios de conformidade. Nesta fase de produção inicial, não faz qualquer sentido aplicar-se o critério família. Conforme se pode constatar, estão contemplados 48 resultados, de modo a satisfazer a necessidade de incluir pelo menos 35 resultados. Através dos resultados apresentados no anexo, pode dizer-se que, caso a central avaliasse os resultados como se se tratasse de uma produção inicial, embora se cumprisse sempre o Critério 2, o Critério 1 nunca seria cumprido, quer com sobreposição, quer sem sobreposição.

b) Produção contínua com critério família

Passámos a ter uma produção contínua, a partir do momento em que está disponível um número mínimo de 35 resultados de ensaios, num período não superior a 12 meses. O período de produção inicial é menor, a partir do momento em que a empresa implementa o conceito de família de betões, uma vez que, assim, haverá mais composições a contribuir para os 35 resultados necessários para se passar à produção contínua. Este é o método utilizado, na realidade, pela central de produção. Como foi dito atrás, o período de avaliação da conformidade foi de 3 meses. Considerou-se uma família de betões. A estimativa do desvio padrão é verificada, quanto à sua validade, pelo método 1. Assim, o valor inicial do desvio padrão pode ser aplicado no período subsequente, durante o qual se pretende verificar a conformidade, desde que o desvio padrão dos últimos 15 resultados (s_{15}) não divirja, significativamente, do desvio padrão adoptado. É considerado válido desde que: $0,63\sigma \leq s_{15} \leq 1,37\sigma$. Quando o valor de s_{15} estiver fora destes limites, deve determinar-se uma nova estimativa de σ , a partir dos últimos 35 resultados de ensaio disponíveis. A transposição de resultados para o betão de referência é efectuada,

directamente, com base nas diferenças face aos valores alvo. A verificação da conformidade é efectuada sem sobreposição de valores. O σ utilizado seria o da produção inicial, pelo facto de compreenderem mais de 35 resultados, num período superior a 3 meses. Assim, vamos utilizar o σ da produção inicial.

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (f_{ci} - f_{cm})^2}{n-1}} = 0,91 \text{MPa}$$

Este será o valor a utilizar na expressão correspondente ao critério 1. Verificámos então, analisando em conjunto as classes de betão C16/20, C20/25 e C25/30, que os critérios 1 e 2 de conformidade da resistência à compressão são cumpridos. Uma vez que estamos a tratar de uma família de composições é necessário verificar também o critério 3 para cada uma das composições.

Cada transposição de resultados acarreta um erro que será tanto maior quanto o afastamento do betão ensaiado, face ao betão de referência (Quadro 4.8 e Figura 4.63), pelo que se aconselha que o betão de referência esteja centrado na família. Outra forma, também correntemente utilizada, seria escolher o betão mais frequentemente produzido, pois, deste modo, também haverá um menor número de transposições, reduzindo-se os erros relativos à transposição.

Quadro 4.8 - Constituição da família de composições e betão de referência

Composições da família	Resistência média alvo	Betão de referência
C16/20	$f_{ck} + 2 \sigma = 20 + 2 \times 0,91 = 21,82 \text{ MPa}$	
C20/25	$f_{ck} + 2 \sigma = 25 + 2 \times 0,91 = 26,82 \text{ MPa}$	X
C25/30	$f_{ck} + 2 \sigma = 30 + 2 \times 0,91 = 31,82 \text{ MPa}$	

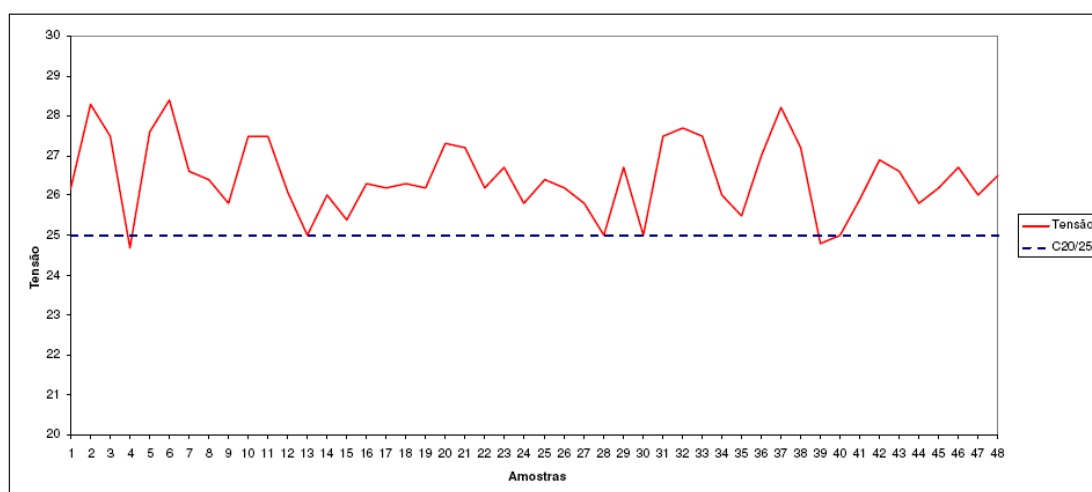


Figura 4.63 - Relação na central de produção entre os resultados transpostos e a tensão característica de referência

Como se pode ver pelo Quadro 4.9, as classes de betão C16/20 e C20/25 verificam e cumprem o critério 3, o critério família. Uma vez que se verifica o critério 3 para a família composta pelas classes C16/20 e C20/25, é necessário validar o valor da estimativa do desvio padrão, σ , utilizando o método 1, com os últimos 15 resultados da família. Assim, verificamos que $s_{15} = 0,93$ MPa. Como $0,63\sigma \leq s_{15} \leq 1,37\sigma$, então o valor inicial para a estimativa do desvio padrão da população continua válido e pode ser aplicado no próximo período de verificação da conformidade.

Quadro 4.9 - Verificação do Critério Família

Classe de Betão	f_{ck}	Número de Amostras	f_{cm}	Critério 3	$0,63 \sigma$	s_{15}	$1,37 \sigma$
C16/20	20	26	21,5	$f_{cm} \geq f_{ck} + 1,48 \sigma = 21,3$	0,57	0,93	1,25
C20/25	25	15	26,3	$f_{cm} \geq f_{ck} + 1,48 \sigma = 26,3$			
C25/30	30	7	31,7	$f_{cm} \geq f_{ck} + 0,16 \sigma + 2,67 = 32,8$?	

No entanto, a classe de betão C25/30 não cumpre esse critério, devendo ser retirada da família e ser avaliada separadamente. Verificamos então, para o cálculo de s_{15} que, para a

classe C25/30 ainda não existem 15 resultados. Portanto, é necessário ficar a aguardar que tal aconteça. Esta classe de betão poderá, no futuro, vir a ocupar novamente a família.

c) Produção contínua sem critério família

Vimos ainda como seria a verificação da conformidade da resistência à compressão, se se optasse pelo método de produção contínua, mas sem o critério 3, o critério família. Foram então analisadas em separado, cada uma das classes: C16/20, C20/25 e C25/30. Mais uma vez se observa que, em qualquer uma das classes, eram cumpridos os dois critérios de conformidade. Este deveria ser o critério de avaliação da conformidade da resistência à compressão do betão, a adoptar pela central de produção, produção contínua sem critério família, uma vez que, como referido, para cada uma das classes de betão em causa, existe uma alteração nas quantidades dos constituintes, que são introduzidos no computador da central, segundo a classe de betão pretendida. Assim, além de se detectar algum problema na central, poder-se-á detectar também uma possível falha no formulário dos constituintes que compõem a classe de betão em questão. Deste modo, poder-se-ia ter detectado, de acordo com os resultados apresentados que, para a classe de betão C16/20, apesar de, no global, esta verificar, fazendo uma avaliação de 15 em 15 resultados, no último grupo de resultados avaliados, embora, por muito pouco, existe uma tendência para não se cumprirem os critérios de verificação da conformidade da resistência à compressão. Esta tendência seria detectada também na avaliação em família para o último conjunto de resultados dos betões das classes C16/20 e C20/25, mas não se conseguiria verificar que o problema estava associado à formulação correspondente ao betão C16/20. Dever-se-ia, portanto, verificar se houve alterações nos constituintes que compõem a classe C16/20. Depois de contactar a central de produção, constatou-se que, durante o segundo mês, houve uma alteração no fornecedor de cimento, com a resultante mudança do local de fabrico. Apesar do tipo de cimento ser o mesmo, o que aconteceu foi que houve uma consequente alteração nos resultados dos ensaios de resistência à compressão, embora muito ligeira, o suficiente para que os critérios de avaliação da conformidade da resistência à compressão, para a classe de betão C16/20, não se verificassem. A central deveria rever, então, a fórmula da classe C16/20, bem como o método de avaliação da conformidade da resistência à compressão.

4.2.3.2 - Análise dos resultados segundo a norma NP ENV 206 [2]

Utilizando a norma NP ENV 206 [2], para avaliar a conformidade da resistência à compressão, realizou-se a análise às três classes de betão em separado, C16/20, C20/25 e C25/30, partindo do princípio de que a amostragem foi de 3 amostras, por semana, para as classes C16/20 e C20/25 e de 6 amostras, por semana, para a classe C25/30. Segundo a norma, uma semana de amostras de uma classe, corresponde a um lote para avaliar a resistência à compressão. Aplicando a norma NP ENV 206 [2] na análise de todos os resultados ao mesmo tempo, as classes de betão C16/20, C20/25 e C25/30 foram alcançadas no limite, obtendo-se os betões com as classes pretendidas.

Segundo os resultados obtidos, com a norma NP ENV 206 [2], constatou-se que, para as classes de betão C16/20 e C20/25, com uma amostragem de 3 amostras, nunca se cumpriram os critérios de verificação da conformidade da resistência à compressão. O mesmo já não se verificaria para a classe de betão C25/30, tendo os respectivos critérios de verificação da conformidade da resistência à compressão sido verificados. Com a combinação de 6 ou mais amostras, as classes de betão C16/20 e C20/25 chegaram a cumprir os critérios de verificação de conformidade da resistência à compressão. Assim, na norma NP ENV 206 [2], constatava-se que, quanto maior fosse o número de amostras do lote de betão a avaliar, mais facilmente se verificavam os critérios de conformidade da resistência à compressão. Isto porque as condições de verificação, à medida que o número de amostras vai aumentando, vão-se tornando menos exigentes, devido ao facto da constante que afecta o desvio padrão, λ , ir diminuindo, com o número de amostras. Outro factor a ter em conta é o desvio padrão: quanto menor for a variação entre os valores das amostras, menor será o desvio padrão e, conseqüentemente, mais facilmente se conseguirá verificar a conformidade da resistência à compressão do lote em estudo. Neste caso, se estivesse em vigor esta norma, nas amostras em que não se verificassem os critérios de conformidade da resistência à compressão e após verificação dos resultados obtidos na extracção de carotes, o projectista teria que analisar os resultados do betão e verificar se

advinha algum problema dali para a estabilidade da estrutura, podendo calcular um reforço da mesma, ou, em último caso, demolir a estrutura em causa.

4.2.3.3 - Aplicação das normas ACI 318 [3] e ACI 214R-02 [4] e análise dos resultados segundo o método CUSUM

Na central de produção, após aplicação das normas americanas ACI 318 [3] e ACI 214R-02 [4] e estudando também, em separado, cada uma das classes de betão produzidas, C16/20 e C20/25, constatou-se que, em todas elas, se verificaram os critérios de conformidade da resistência à compressão. Quanto à classe C25/30, ainda não existem resultados em número suficiente para se poder concluir se se verificam ou não os critérios de conformidade da resistência à compressão, uma vez que são necessários 10 resultados e ainda só existem 7. Mas há uma tendência para que essa avaliação seja positiva.

Neste modo de análise, poder-se-ia ter detectado, conforme os resultados apresentados, que, para a classe de betão C16/20, apesar de, no global, verificar, fazendo uma avaliação de 10 em 10 resultados, no segundo grupo de resultados avaliados e no último grupo de resultados que se estava a formar, embora por muito pouco, existe uma tendência para não se cumprirem os critérios de verificação da conformidade da resistência à compressão. Mais uma vez se conclui que a análise das classes de betão, em separado, deveria ser o critério de avaliação da conformidade da resistência à compressão do betão a adoptar pela central de produção, uma vez que, como se disse, para cada uma das classes de betão em causa existe uma receita diferente que é introduzida à vez no computador da central, conforme a classe de betão pretendida. Também como já se afirmou, além de se detectar algum problema na central, poder-se-á detectar também uma possível falha no formulário dos constituintes que compõem a classe de betão em causa. Tal foi confirmado, uma vez que, depois de contactar a central de produção, constatou-se que, durante o segundo mês, houve uma mudança no fornecedor de cimento e com a resultante alteração do local de fabrico e que, apesar do tipo de cimento ser o mesmo, o que se observou foi que houve uma mudança nos resultados dos ensaios de resistência à compressão, embora muito ligeira, o suficiente para que os critérios de avaliação da conformidade da resistência à compressão,

para a classe de betão C16/20, não se verificassem. Concluiu-se, pois, que a central deveria rever a fórmula da classe de betão C16/20, uma vez que as outras continuam a apresentar resultados aceitáveis, cumprindo com os critérios de conformidade.

O princípio da técnica CUSUM é o de utilizar os resultados de ensaios obtidos em idades jovens dos provetes, por exemplo aos 2 dias, estimando qual seria a resistência aos 28 dias. Depois, utilizando as estimativas, comparam-se os valores obtidos com os valores pretendidos para a resistência média alvo e acumulam-se os desvios, obtendo-se, deste modo, uma tendência da produção, podendo-se então, actuar mais cedo sobre o sistema de produção, no sentido de a manter em níveis satisfatórios. Este sistema permite, ao produtor, actuar com um atraso de apenas alguns dias, quando, anteriormente, só poderia actuar após os 28 dias de idade. É ainda necessário manter não só a resistência média sob controlo, mas também o desvio padrão e, principalmente, o coeficiente de análise de regressão da resistência às diferentes idades sob controlo. Conforme já referido, no método CUSUM, existem três tipos de análises: a CUSUM M, que representa o somatório das diferenças entre a resistência estimada e a resistência média alvo; a CUSUM R, que é o somatório das amplitudes entre as resistências estimadas e a amplitude média alvo; e a CUSUM C, que nos dá o somatório das diferenças entre a resistência real obtida e a resistência estimada. Sempre que forem intersectadas as linhas de aviso, as máscaras, pela curva CUSUM, então é necessário efectuar uma revisão ao processo de fabrico ou às composições. As linhas de aviso identificam variações significativas no comportamento dos betões e dependem exclusivamente do desvio padrão da população. No nosso estudo, não temos provetes colhidos aos 2, 3 ou 7 dias para poder estimar uma resistência e optou-se por considerar como resistência estimada a resistência real obtida aos 28 dias. Deste modo, deixa de fazer sentido no nosso estudo o cálculo da diferença entre a resistência real obtida e a resistência estimada, o CUSUM C, que iria forçosamente dar 0. Mais uma vez, no cálculo da resistência média alvo, aplicaram-se os 3 critérios e adoptou-se sempre o valor mais elevado, conforme descrito na norma ACI 214R-02 [4]. No critério 1, o projectista especifica o número máximo de resultados que não verificam. No critério 2, o projectista especifica o número máximo de ensaios consecutivos que não verificam. No critério 3, o

projectista especifica a probabilidade de um resultado aleatório nunca ficar abaixo da resistência à compressão especificada.

Por ser a forma correcta de cálculo na central de produção em estudo, aplicamos o método CUSUM às três classes em separado, C16/20, C20/25 e C25/30, uma vez que, conforme já referido, para as três misturas, as fórmulas das composições introduzidas no computador da central são independentes para cada uma. Fazendo então a análise dos resultados pelo método CUSUM e começando pelo gráfico da curva CUSUM M verificamos que a curva mantém-se sempre dentro das linhas de aviso, quer para a classe de betão C16/20 (Figura 4.64), quer para a classe de betão C20/25 (Figura 4.66), quer para a classe de betão C25/30 (Figura 4.67), não havendo necessidade de intervir na mistura. Por outro lado, no gráfico da curva CUSUM R, verificamos um afastamento pela negativa em relação à amplitude média alvo na classe C16/20 (Figura 4.64), com a intersecção das linhas de aviso no resultado 24 (corresponde ao resultado 17 da classe C16/20) (Figura 4.65). Na classe C20/25 (Figura 4.66) também verificamos este aproximamento da curva CUSUM R das linhas de aviso, sem no entanto as intersectar. Na classe C25/30 (Figura 4.67), a curva CUSUM R mantém-se sempre mais ou menos equidistante das linhas de aviso, sem as intersectar. O betão ao apresentar uma acumulação de desvios pela negativa, indica-nos que o desvio padrão é sistematicamente inferior à amplitude média alvo e uma vez que na classe C16/20 existe a intersecção da curva CUSUM R com as linhas de aviso (Figuras 4.64 e 4.65), implica a necessidade de uma revisão da resistência média alvo e por consequência, da amplitude média alvo.

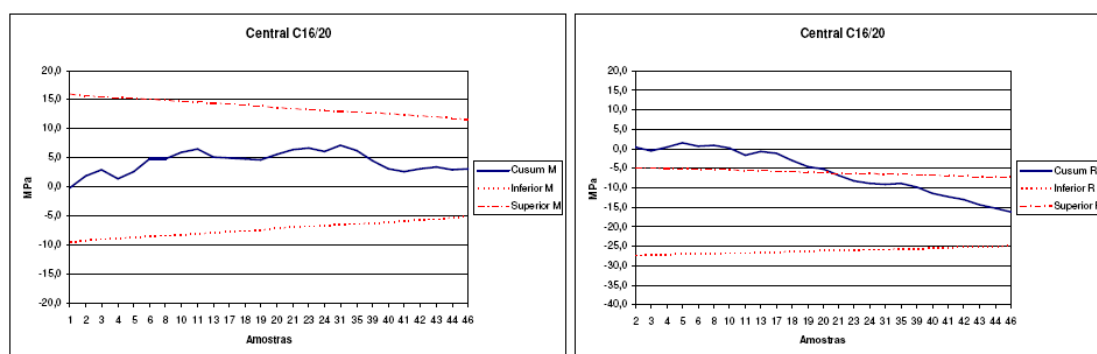


Figura 4.64 - Gráficos CUSUM M e CUSUM R dos resultados da classe de betão C16/20 na central de produção

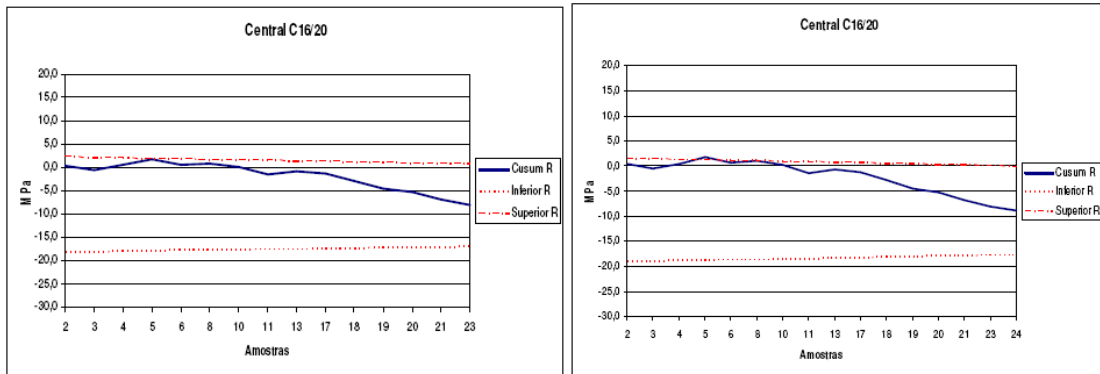


Figura 4.65 - Gráficos CUSUM R da classe de betão C16/20 na central de produção, para os resultados 23 e 24

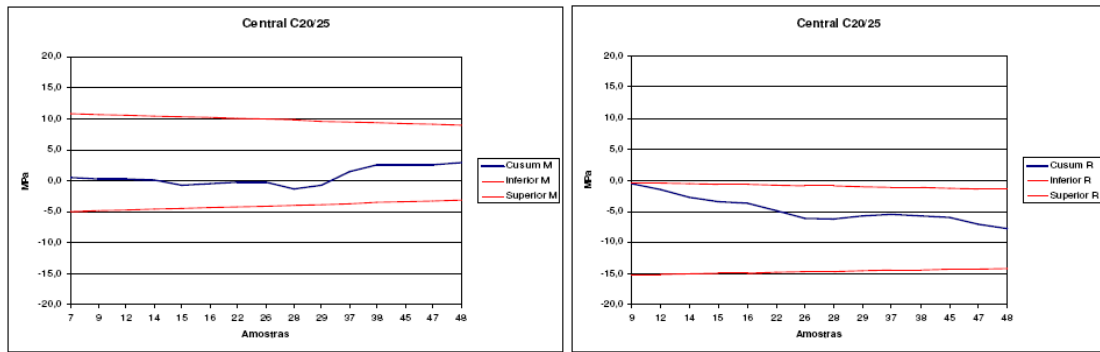


Figura 4.66 - Gráficos CUSUM M e CUSUM R dos resultados da classe de betão C20/25 na central de produção

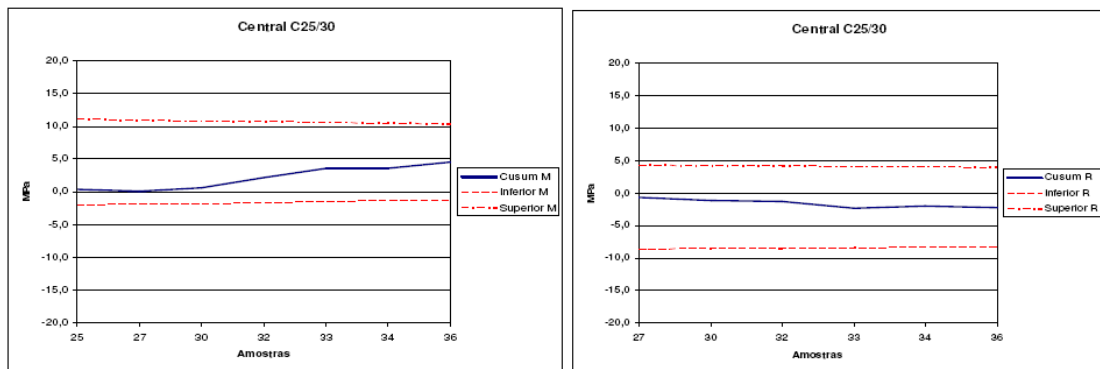


Figura 4.67 - Gráficos CUSUM M e CUSUM R dos resultados da classe de betão C25/30 na central de produção

Exemplo de uma intervenção na classe C16/20 – CUSUM R

Depois de analisados os gráficos CUSUM, conclui-se que se deveria intervir na classe C16/20, uma vez que apenas existe a intersecção da curva CUSUM R com as linhas de aviso. Esta intervenção implica a alteração da quantidade de cimento a adicionar na fórmula responsável pelo fabrico desta classe de betão:

- Resistência média alvo

$$f_{cm,alvo} = f_{ck} + 1,48 s_n = 20 + 1,48 \times 1,04 = 21,33 \text{ MPa}$$

- Diferença entre a amplitude média alvo e a actual amplitude média

$$= (- 8,9 - 1,7) / (17 - 5) = - 0,88 \text{ MPa}$$

- Novo desvio padrão alvo = desvio padrão alvo + alteração do desvio padrão

$$= 1,04 + (- 0,88 / 1,693) = 0,52 \text{ MPa (o valor 1,693 é retirado do Quadro 3.6, para 3 provetes por resultado)}$$

- Nova resistência média alvo

$$f_{cm,alvo} = f_{ck} + 1,48 s_n = 20 + 1,48 \times 0,52 = 20,77 \text{ MPa}$$

- Diferença entre a nova resistência média alvo e a anterior

$$= 20,77 - 21,33 = - 0,56 \text{ MPa}$$

Assume-se que um aumento de cimento de 8 kg/m^3 , aumenta a resistência média em 1 MPa. Aplicando-se ainda um factor de homogeneização de 0,75, temos que a mudança de cimento estimada necessária é de: $0,75 \times 8 \times (-0,56) = - 3,36 \text{ kg/m}^3$. Com os critérios de conformidade das normas americanas e através do cálculo CUSUM, concluímos que tínhamos então que diminuir $3,36 \text{ kg/m}^3$ na mistura de betão correspondente à classe C16/20, aquando do resultado 24 (corresponde ao resultado 17 da classe C16/20).

4.2.3.4 - Análise global da aplicação das normas na central de produção

Analisando a central de produção, com base nos resultados resumidos no Quadro 4.10, concluímos que, no global, são cumpridos os critérios de conformidade da resistência à compressão, quer aplicando a norma NP EN 206-1 [1], ou as americanas ACI 318 [3] e ACI 214R-02 [4]. Verificando agora cada uma das classes de betão e começando pela classe C16/20, ao aplicar as normas, NP EN 206-1 [1], NP ENV 206 [2], ACI 318 [3] e ACI

214R-02 [4], conclui-se que, em qualquer uma delas, os critérios de conformidade da resistência à compressão nem sempre são cumpridos. Aliás, na norma NP ENV 206 [2], se só se utilizarem 3 amostras para avaliar os critérios de conformidade da resistência à compressão, estes nunca são cumpridos. Na classe C20/25, esses critérios são sempre cumpridos com a norma NP EN 206-1 [1] e as americanas ACI 318 [3] e ACI 214R-02 [4]. Com a anterior norma NP ENV 206 [2], para esta classe de betão, mais uma vez os critérios nem sempre são cumpridos. Se se utilizarem só 3 amostras, os critérios nunca são cumpridos. Se se utilizarem 6 ou mais amostras na avaliação, uma vez os critérios são cumpridos e outra vez não. Finalmente, com a classe C25/30, na anterior norma NP ENV 206 [2], os critérios de conformidade da resistência à compressão são cumpridos, ao passo que nas outras normas, não existe um número suficiente de resultados para a sua aplicação.

Quadro 4.10 - Verificação das normas na central de produção

	NP EN 206-1	NP ENV 206	ACI 318 e ACI 214R-02
C16/20	●	●	●
C20/25	✓	●	✓
C25/30	a)	✓	a)
Global	✓	✓	✓

Legenda: ✓ - Verifica sempre; ● - Nem sempre verifica; ✗ - Nunca verifica

a) Sem resultados suficientes para se aplicar a norma

Pode acontecer, em casos muito raros, que os resultados dos ensaios de avaliação da conformidade da resistência à compressão do betão verificarem, no produtor e, depois, não verificarem no utilizador. Isto é muito difícil acontecer, mas é possível, embora estejamos a falar de populações distintas, uma no produtor e outra no utilizador. Esta situação poderá ser revista numa posterior emenda da norma NP EN 206-1 [1]. De facto, no produtor a avaliação é feita para uma produção contínua. Os resultados vão sendo acumulados à medida que o betão vai saindo para várias obras, fazendo-se a análise quando o número de resultados é superior ou igual a 15. Faz-se portanto uma avaliação contínua. Ao passo que

com o utilizador, a recolha é feita de um determinado lote de betão e só esse é que vai ser avaliado, chamando-se ensaio de identidade. Ainda assim, utilizando a central de produção analisada, como exemplo, verificámos que ao serem recolhidas 15 amostras, teríamos que respeitar a seguinte condição: $f_{cm} \geq f_{ck} + 1,48 \sigma$, segundo a norma NP EN 206-1 [1]. Recolhendo também, a título exemplificativo, 2, 3 ou 4 amostras em obra para ensaios de identidade, aplicaríamos a seguinte condição: $f_{cm} \geq f_{ck} + 1$. Assim, se o desvio padrão na central de produção fosse inferior a 0,68 MPa, isto implicaria que 1,48 a multiplicar pelo desvio padrão seria inferior a 1. Logo, nestes casos, o critério de verificação da conformidade do betão, referente à média dos resultados obtidos, seria mais exigente para os ensaios de identidade, do que para o caso dos ensaios de produção.

No entanto, se em obra, para os ensaios de identidade, em vez de 3 amostras, tivessem sido recolhidas 5 ou 6 amostras, a condição a aplicar passaria a ser: $f_{cm} \geq f_{ck} + 2$. Neste caso, para que o critério de verificação da conformidade do betão continue a ser mais exigente na central de produção do que em obra, o desvio padrão, na central de produção, já teria que ser superior a 1,35 MPa.

Antes de sair a emenda 1 de 2008, da norma NP EN 206-1 [1], é importante salientar que, se a central de produção estudada não tivesse certificado o seu controlo de produção, apesar das condições de verificação da conformidade da resistência à compressão do betão na central de produção se manterem, os ensaios de identidade, em obra, seriam muito mais penalizadores. O critério referente à média dos resultados obtidos em obra passaria então para $f_{cm} \geq f_{ck} + 4$. Neste caso, seria necessário um desvio padrão, na central, superior a 2,70 MPa, para que a situação fosse mais desfavorável na central do que em obra. Caso contrário, pode, por conseguinte, acontecer, mais facilmente, o betão verificar as condições de conformidade da resistência à compressão na central de produção e, depois, não o fazer em obra. Agora as fórmulas para os ensaios de identidade são iguais, quer seja betão com certificação do controlo de produção, quer seja betão sem certificação do controlo de produção.

De referir ainda que, numa empresa de produção de betão com certificação do controlo de produção, caso o organismo de certificação detecte o surgimento de dois resultados consecutivos abaixo de $(f_{ck} - 4)$, a certificação deve ser suspensa. Caso o produtor pretenda readquirir a certificação, deve reiniciar todo o processo de certificação.

4.2.3.5 - Controlo da conformidade da consistência

Analisou-se também o controlo da conformidade da consistência, que se baseia na contagem do número de resultados de ensaio que se encontram fora dos valores limite, dos limites da classe, ou fora das tolerâncias de um valor pretendido especificado, face a um número aceitável de defeitos menores. Deste modo, se o número de resultados, que se encontra dentro de uma faixa correspondente a desvios menores, for inferior ou igual ao número aceitável de defeitos menores, então presume-se que o produto está conforme, no respeitante a essa propriedade. As amostras de betão devem ser efectuadas de acordo com a NP EN 12350-1 [66]. No controlo da conformidade da consistência, verificou-se, então, que, em 48 resultados, houve 7 defeitos menores detectados, num número aceitável de 10. Confirmou-se, portanto, a conformidade da consistência do betão com a NP EN 206-1 [1] (Quadro 4.11).

Como curiosidade, é de salientar que os defeitos menores aconteceram sempre pelo facto do betão estar muito duro. A solução que a empresa produtora de betão encontrou foi a de juntar simplesmente água ao betão. Ora, como podemos confirmar pelos resultados da resistência à compressão correspondente a cada uma destas amassaduras com defeito menor no controlo da conformidade da consistência estão entre os menores. Isto confirma que, adicionar só água a uma amassadura de betão, para diminuir a sua consistência, nunca é a solução mais indicada, uma vez que altera outras propriedades do betão. A adição de água devia ser feita, mas em conjunto com a adição de outros constituintes, devidamente doseados, de forma a não interferir com as propriedades do betão. O utilizador nunca deve adicionar água ao betão, mesmo que este não passe no controlo da conformidade da consistência. Nestes casos, é sempre preferível rejeitar o betão.

Quadro 4.11 - Resultados de Conformidade para a Consistência

Número da amostra	Classe Pretendida	Resultado Obtido	Número da amostra	Classe Pretendida	Resultado Obtido
1	S3	70	25	S3	120
2	S3	100	26	S3	110
3	S2	100	27	S3	110
4	S3	50	28	S2	50
5	S2	60	29	S3	100
6	S3	80	30	S3	110
7	S3	60	31	S3	90
8	S3	130	32	S2	100
9	S3	80	33	S3	90
10	S3	110	34	S3	70
11	S3	80	35	S2	70
12	S3	100	36	S2	90
13	S2	50	37	S2	80
14	S2	90	38	S2	90
15	S3	70	39	S2	60
16	S2	100	40	S3	70
17	S2	110	41	S3	100
18	S2	70	42	S2	60
19	S3	70	43	S3	80
20	S3	80	44	S3	100
21	S2	100	45	S3	110
22	S2	100	46	S3	80
23	S3	120	47	S2	60
24	S3	90	48	S3	100

5. Conclusões

Esta dissertação resultou nos seguintes contributos: a avaliação dos resultados dos ensaios de resistência à compressão do betão, executados no Laboratório de Materiais de Construção da Universidade do Minho, correspondentes ao período de 1998 a 2008; o acompanhamento de 10 obras, classificando os betões e respectivos estaleiros, bem como os conhecimentos de quem trabalha o betão, sobre o fornecimento e aplicação do mesmo; o acompanhamento e estudo da produção de uma central de betão num determinado período de tempo, classificando o betão; em todas as situações efectuou-se a avaliação da combinação de resultados, e a comparação entre normas europeias e americanas; a aplicação do método CUSUM aos resultados obtidos na central de betão.

Conforme se pode concluir pela análise dos resultados dos ensaios de resistência à compressão, disponíveis no intervalo de tempo entre 1998 e 2008, no Laboratório de Materiais de Construção da Universidade do Minho, a qualidade do betão veio sempre a decair até 2004, tendo, a partir de então, sido registada uma melhoria. Esta variação de resultados até 2004 e melhoria nos últimos anos, verificou-se quer nas obras, quer em todos os empreiteiros estudados, de uma maneira geral. Assiste-se, nos últimos anos, a uma clara aposta do sector da Construção Civil na *Qualidade*, como forma de marcar a diferença, numa área cada vez mais competitiva. O controlo é positivo e pode repercutir-se em vantagens económicas. O maior investimento inicial compensa. Regista-se, também, que, são mais as amostras que não verificam a conformidade nas classes de betão mais baixas do que nas mais altas, concluindo-se, portanto, que existe um cuidado maior, por parte dos produtores de betão, aquando do fabrico de classes de betão mais elevadas. Daqui se pode deduzir também que, uma grande percentagem dos resultados que não verificam os critérios de conformidade da resistência à compressão pretendida, se fica a dever, em grande parte, a desleixo e relaxamento dos produtores de betão.

Além das razões de desleixo e relaxamento dos produtores de betão, apontadas como factores para o não cumprimento da resistência à compressão pretendida, temos também a falta de formação nesta área, por parte destes. De facto, no estudo feito, através de

inquéritos a empreiteiros da construção civil e na recolha de provetes e carotes, em dez obras do distrito de Braga, verificou-se que em muitos casos havia um total desconhecimento do modo correcto de execução e cura, quer dos elementos de estrutura em betão armado, quer dos provetes. Esta constatação foi confirmada através da proposta da adopção de uma nova metodologia para classificação dos estaleiros. Assim, calculou-se um coeficiente de estaleiro (c.e.) dividindo o coeficiente de variação (V) por 10 e pela diferença da tensão obtida em relação à tensão característica ($c.e. = V / (10 \cdot dT)$). Com base nesse coeficiente alcançado, classificou-se então o estaleiro em ‘Excelente’ se o coeficiente desse de 0,05 para baixo, em ‘Muito Bom’ se o coeficiente desse de 0,05 até 0,10, em ‘Bom’ se o coeficiente desse de 0,10 até 0,20, em ‘Razoável’ se o coeficiente desse de 0,20 até 0,40 e em ‘Mau’ se o coeficiente desse igual ou superior a 0,40, ou inferior a 0. Das 10 obras analisadas através dos provetes, 6 estaleiros obtiveram a classificação de ‘Mau’, 2 de ‘Razoável’, 1 de ‘Bom’ e 1 de ‘Muito Bom’. A má execução dos provetes explica-se, também em parte, porque para o seu fabrico são escolhidos aqueles trabalhadores que, durante a betonagem, estão mais desocupados, que por regra, são os menos qualificados, como por exemplo, os serventes. De facto, nas carotes extraídas de uma peça betonada e curada nas mesmas condições da estrutura, das 10 obras analisadas, 4 estaleiros obtiveram a classificação de ‘Mau’, 1 de ‘Razoável’, 2 de ‘Bom’ e 3 de ‘Excelente’. Comparando com os resultados obtidos nos provetes, concluímos que os das carotes são substancialmente superiores. Tal fica-se a dever em parte ao facto de ser um método de avaliação diferente para os trabalhadores, tendo-se esmerado mais nesta situação, e sendo inclusive muitas vezes o próprio encarregado da obra a concepcionar a peça, desde a cofragem à betonagem.

Ainda assim, nota-se, cada vez mais, uma opção dos empreiteiros da construção civil pelo betão pronto, em detrimento do betão feito em obra. Isto fica a dever-se, fundamentalmente, ao factor económico. Os empreiteiros começam a aperceber-se que fica mais barato comprar betão pronto do que fabricá-lo na obra. Ao contrário de outros tempos, cada vez mais, o que fica mais caro em qualquer obra é a mão-de-obra. A juntar a tudo isto, nota-se, cada vez mais, uma maior competição entre as empresas do sector de produtores e fornecedores de betão. Saliente-se também que as novas normas são mais exigentes para com os produtores de betão. Por exemplo, em relação às classes de inspecção, prevê-se que

somente as empresas produtoras de betão, com certificação do controlo de produção, possam fornecer betão para as obras da classe de inspecção 3. Sabe-se que, devido ao factor económico, os empreiteiros da construção civil optam, como já se disse, cada vez mais, pelo betão pronto, em vez do betão feito em obra. E sabe-se que, em relação ao betão pronto, a qualidade tem vindo também claramente a subir, devido a um regime normativo cada vez mais exigente para com os produtores e fornecedores de betão, e devido a um sector de actividade cada vez mais competitivo, em que a qualidade do produto marca cada vez mais a diferença na escolha entre as empresas do ramo. Conclui-se, portanto, que todos estes factores, em conjunto, levam a que o betão utilizado nas obras seja cada vez mais de melhor qualidade. Pode dizer-se ainda que, com o aumento da dimensão da obra e o incremento da classe de betão, verificam-se, mais facilmente, os critérios de conformidade da resistência à compressão do betão.

Na combinação de resultados efectuada em obra, aplicando a norma actual, verificámos que com combinações de 2 até 4 resultados, as possibilidades de verificação dos critérios de conformidade da resistência à compressão vão aumentando com o número de resultados, uma vez que se torna mais fácil diluir na média um possível mau resultado isolado. A partir de 5 resultados, com a fórmula de cálculo mais gravosa, as possibilidades de verificação dos critérios de conformidade da resistência à compressão vão diminuindo. Com base neste estudo, concluiu-se que ao aplicar a norma actual, o ideal seria usar 4 resultados para que os critérios de conformidade da resistência à compressão fossem cumpridos. Aplicando a anterior norma, constatamos que de 3 até 6 resultados, as possibilidades de uma combinação de resultados verificar os critérios de conformidade da resistência à compressão vão aumentando com o número de resultados. No entanto, com a alteração da fórmula de cálculo dos critérios de conformidade a partir de 6 resultados, baseada no desvio padrão, quanto maior for o número empregue numa combinação, as possibilidades de vir a cumprir os critérios de conformidade da resistência à compressão diminuem. Assim, tendo como base este estudo, o ideal na anterior norma, para que os critérios de conformidade da resistência à compressão fossem cumpridos seria usar 6 resultados. Quer numa quer noutra norma, os critérios de conformidade deveriam beneficiar e verificar mais facilmente com a recolha do maior número de resultados possível, uma vez que quantos mais resultados

obtivermos de um lote de betão, mais representatividade, precisão e informação, teremos sobre ele.

As normas europeias são bastante diferentes das americanas, quanto ao controlo da conformidade do betão. Ambas procuram a conformidade do produto. As normas americanas são mais exigentes do que as europeias quanto ao plano de amostragem. Mas, ao compararmos o cumprimento dos critérios, as normas americanas têm uma maior percentagem de verificação do que as europeias. Em ensaios de identidade, nas normas americanas, para se obter um resultado de ensaio de uma amostra, bastam 2 provetes cilíndricos. Nas normas europeias também são necessários pelo menos 2 provetes cúbicos ou cilíndricos. Se a análise for feita para uma produção de betão, quer seja inicial ou contínua, para se obter um resultado de uma amostra, basta um resultado individual de um provete. Se o betão tiver certificação do controlo de produção, nas normas europeias, o número de resultados pode variar entre 1 e 6, podendo bastar uma amostra por amassadura, por piso, ou por semana. Na norma anterior, para se obter um resultado de ensaio de uma amostra, bastava um resultado individual de um provete. Nesta norma, eram necessárias, pelo menos, 6 amostras por lote, podendo ser de 3 amostras por lote, caso o betão não fosse superior à classe C20/25, ou o lote tivesse um volume de betão inferior a 150 m³. O plano de amostragem é mais intenso nas normas americanas do que na norma europeia actual. Enquanto que as normas americanas pedem uma amostra por dia, por classe de betão, a norma europeia estabelece para o produtor, se o betão for sem certificação do seu controlo de produção, que pode ser de uma amostra por dia. Mas se o betão tiver certificação do controlo de produção, o número de amostras poderá ser de uma por semana. Apesar das diferenças, as normas europeias e americanas estão de acordo no seguinte ponto: caso os provetes recolhidos em obra, como amostra da classe do betão utilizado, não verifiquem os critérios de verificação da conformidade da resistência à compressão do betão, deve colocar-se à consideração do projectista uma solução para o problema. Caso este decida por proceder à carotagem e se esta também não verificar, então, se o projectista estiver de acordo, deve passar-se aos ensaios de carga. No final, na posse de todos os dados, o projectista deve decidir qual a solução a aplicar à estrutura, o que pode passar pela sua demolição.

Nas normas americanas, para além do controlo do betão, faz-se também o controlo e avaliação dos resultados e dos técnicos que vão recolher e ensaiar as amostras. Nos países anglo-saxónicos, ao contrário de Portugal, no controlo da produção de betão é muito utilizado o método CUSUM. Trata-se de uma técnica que ainda não está muito divulgada entre nós, mas importa começar a divulgá-la e aplicá-la, uma vez que permite uma avaliação da tendência da resistência à compressão do betão muito mais cedo, possibilitando, mais rapidamente, uma possível correcção. O método CUSUM permite ao produtor, manter a produção do betão em níveis economicamente sustentáveis. Portanto, este tipo de análise, não só leva a que o produtor consiga rectificar os resultados do betão, mas também a poupar muitas vezes material, no caso de se estarem a observar resistências à compressão do betão muito elevadas, ou evitar problemas com a estrutura, no caso de se estarem a observar resistências muito baixas. Identificam-se tendências da produção, o que permite actuar atempadamente sobre o sistema de produção, de modo a mantê-lo em níveis satisfatórios. Como se pode concluir, facilmente, um sistema deste género permite, ao produtor, actuar com um atraso de apenas alguns dias, quando, pelo método convencional, só se poderia actuar após os 28 dias de idade. Ensaçando as amostras de betão, por exemplo, aos 2 dias de idade, poderemos estimar qual irá ser a resistência à compressão. Sempre que a resistência à compressão real for inferior ao valor da resistência característica, deve contactar-se o projectista e pedir a sua avaliação para a nova realidade da estrutura, de modo a que se possa aferir da segurança da mesma.

Em relação ao estudo da central de betão, conforme pudemos verificar e comprovar, registou-se que esta cumpria as regras normativas. Verificámos, também, que, de facto, as normas eram cumpridas no limite, sempre com a utilização da menor quantidade possível de materiais, procurando, portanto, um menor custo possível e, conseqüentemente, um maior lucro na actividade da empresa. Isto leva a que tenha de haver um apurado sentido de fiscalização na produção do betão, uma vez que, por exemplo, o mínimo descuido na introdução da quantidade de cimento ou água, implica que os critérios de conformidade possam já não ser cumpridos.

Nos ensaios de resistência à compressão do betão, na central de produção, o produtor vai aplicar os critérios de conformidade a todos os resultados, pela sequência com que são obtidos, independentemente da obra onde foi colocado. Em obra, o utilizador dispõe apenas de um conjunto de resultados. No entanto, pode acontecer o seguinte. Ao aplicar os ensaios de identidade, para 2 a 4 resultados, a fórmula é $f_{cm} \geq f_{ck} + 1$ e a fórmula no produtor com produção contínua é $f_{cm} \geq f_{ck} + 1,48 \sigma$. Relacionando a segunda parcela das duas fórmulas, temos que $\sigma = 1 / 1,48 = 0,68$ MPa. Ou seja, se o produtor tiver um desvio padrão inferior a 0,68 MPa, o que é muito difícil acontecer, o betão pode vir a verificar os critérios no produtor e não verificar no utilizador. Nos ensaios de identidade, para 5 e 6 resultados, a fórmula é $f_{cm} \geq f_{ck} + 2$ e no produtor para produção contínua é $f_{cm} \geq f_{ck} + 1,48 \sigma$. Relacionando a segunda parcela das duas fórmulas, temos que $\sigma = 2 / 1,48 = 1,35$ MPa. Ou seja, se o produtor tiver um desvio padrão inferior a 1,35 MPa, o que já é menos difícil de acontecer, o betão pode vir a verificar os critérios no produtor e não verificar no utilizador. Assim, visto que os ensaios de identidade são obrigatórios e não ocasionais, o critério de verificação da conformidade da resistência à compressão no produtor deveria ser sempre mais gravoso do que no utilizador.

Apesar de, na maior parte das centrais de produção, ao utilizar a norma actual, estar divulgada a aplicação do critério família, conforme pudemos verificar, com o estudo realizado, é mais conveniente para avaliar uma tendência no controlo da qualidade do betão, fazer a avaliação da conformidade da resistência à compressão das classes de betão em separado e no menor número agrupado de resultados possível (15 resultados nesta norma e 10 nas americanas), uma vez que isto vai permitir avaliar, de um modo mais rápido, concreto e objectivo, se alguma classe ou mistura dessa classe está a falhar o cumprimento dos critérios de conformidade da resistência à compressão.

As principais fontes de variação da resistência são as variações devido às alterações da composição do betão ou, devido a variações das alterações nos métodos de ensaio. As variações devido às alterações da composição do betão podem ser devido a: mudanças na razão A/C (causadas por fraco controlo da água, variação excessiva de humidade nos agregados, ou variação na medição da humidade nos agregados); variações nos requisitos

da água (causadas por alterações na absorção de água pelos agregados, alterações das suas propriedades na mistura com o cimento, alterações no tempo de entrega e condições atmosféricas); variações nas características e proporções dos constituintes (agregados, cimento e adjuvantes); variações da mistura, transporte, colocação, e compactação; variações de temperatura na cura do betão. As variações devido às alterações nos métodos de ensaio podem ser devidas a: métodos de amostragem incorrectos; variações devidas às técnicas de fabrico (manuseamento, armazenagem e cura de provetes recentemente preparados, e utilização de moldes de má qualidade ou danificados); mudanças na cura (causadas pela variação de temperatura e/ou variação no controlo da humidade); atrasos no transporte dos provetes para o laboratório; fracos procedimentos de ensaio (entre outros a preparação do provete e utilização de equipamento descalibrado nos ensaios). Analisando, então, concretamente os aspectos mais relevantes, atrás referidos, temos que a diferença de resultados pode ficar a dever-se à alteração dos materiais constituintes do betão utilizados, em diferentes partes do trabalho proposto. Assim, é importante que cada combinação seja avaliada. Por exemplo, quando a consistência de um betão é demasiado alta, adicionar só água a essa amassadura, para diminuir a sua consistência, nunca é a solução mais indicada, uma vez que vão ser alteradas outras propriedades do betão. A adição de água devia ser feita pelo produtor, mas em conjunto com a adição de outros constituintes devidamente doseados, de forma a não interferir com as propriedades do betão. O utilizador, nunca deve adicionar água ao betão, mesmo que este não passe no controlo da conformidade da consistência, sendo sempre preferível ao utilizador rejeitar o betão.

Segundo as normas americanas, a recolha, cura e ensaio dos provetes de betão, deve ser feita por Técnicos de Laboratório Qualificados. Estes devem realizar todas as análises laboratoriais. Todo este trabalho é também avaliado. Exige-se que os provetes a submeter a ensaios de resistência sejam moldados e curados em conformidade com as normas. Como frequência de ensaio, sugere-se que se deve proceder à recolha de amostras para ensaios de resistência para cada classe de betão colocada em cada dia. Os relatórios dos ensaios deverão ser imediatamente distribuídos ao dono de obra, identificando os profissionais responsáveis pela concepção, contratante, subcontratantes, fornecedores, a fim de permitir a identificação atempada para se verificar, quer a conformidade, quer a necessidade de

medidas correctivas. Também na Europa, se deveria aplicar esta regra das normas americanas, uma vez que uma das conclusões deste estudo é a de que os provetes são, em regra geral, feitos por pessoas sem formação e desconhecendo as regras de boa execução dos mesmos.

Referências

[1] Instituto Português da Qualidade (IPQ), “Betão. Parte 1: Especificação, desempenho, produção e conformidade.”, Norma Portuguesa NP EN 206-1, Lisboa, 2007;

[2] Instituto Português da Qualidade (IPQ), “Betão – Comportamento, produção, colocação e critérios de conformidade.”, Norma Portuguesa NP ENV 206, Lisboa, 1993;

[3] American Concrete Institute Committee (ACI), “Building code requirements for structural concrete (ACI 318-02) and commentary (ACI 318R-02).”, ACI 318, Farmington Hills, E.U.A., 2002;

[4] American Concrete Institute Committee (ACI), “Evaluation of strength test results of concrete.”, ACI 214R-02, Farmington Hills, E.U.A., 2002;

[5] Illston, J. M., “Construction materials, their nature and behaviour.”, E & FN Spon, Londres, Reino Unido, 1996;

[6] Jackson, N. e Dhir, R., “Civil engineering materials.”, MacMillan Education, Oxford, Reino Unido, 1988;

[7] Larrard, François de, “Concrete mixture proportioning: a scientific approach / François de Larrard.”, E & FN Spon, Londres, Reino Unido, 1999;

[8] Instituto Português da Qualidade (IPQ), “Cimento. Parte 1: Composição, especificações e critérios de conformidade para cimento correntes.”, Norma Portuguesa NP EN 197-1, Caparica, 2008;

[9] Instituto Português da Qualidade (IPQ), “Cimento. Parte 2: Avaliação da conformidade.”, Norma Portuguesa NP EN 197-2, Caparica, 2001;

[10] Lança, Pedro e Mesquita, Carlos, “Relatórios Oz”, Lisboa, 2002;

[11] Instituto Português da Qualidade (IPQ), “Métodos de ensaio de cimentos. Parte 1: Determinação das resistências mecânicas.”, Norma Portuguesa NP EN 196-1, Caparica, 2006;

[12] Instituto Português da Qualidade (IPQ), “Métodos de ensaio de cimentos. Parte 3: Determinação do tempo de presa e da expansibilidade.”, Norma Portuguesa NP EN 196-3, Caparica, 2009;

[13] Instituto Português da Qualidade (IPQ), “Métodos de ensaio de cimentos. Determinação quantitativa dos constituintes.”, Norma Portuguesa NP EN 196-4, Caparica, 1990;

[14] Instituto Português da Qualidade (IPQ), “Aggregates for concrete.”, Norma EN 12620, Caparica, 2008;

[15] Instituto Português da Qualidade (IPQ), “Agregados leves. Parte 1: Agregados leves para betão, argamassas e caldas de injeção.”, Norma Portuguesa NP EN 13055-1, Caparica, 2005;

[16] Aguiar, J. B., “Materiais de construção I”, Guimarães, 2005;

[17] Laboratório Nacional de Engenharia Civil (LNEC), “Guia para a utilização de agregados em betões de ligantes hidráulicos.”, Especificação LNEC E-467, Lisboa, 2006;

[18] Laboratório Nacional de Engenharia Civil (LNEC), “Betões. Metodologias para prevenir reacções expansivas internas.”, Especificação LNEC E-461, Lisboa, 2004;

[19] Instituto Português da Qualidade (IPQ), “Água de amassadura para betão. Especificações para a amostragem, ensaio e avaliação da aptidão da água, incluindo água

recuperada nos processos da indústria de betão, para o fabrico de betão.”, Norma Portuguesa NP EN 1008, Caparica, 2003;

[20] Instituto Português da Qualidade (IPQ), “Adjuvantes para betão, argamassa e caldas de injeção. Parte 2: Adjuvantes para betão. Definições, requisitos, conformidade, marcação e etiquetagem.”, Norma Portuguesa NP EN 934-2, Caparica, 2009;

[21] Azevedo, A. C., “Betões de Elevado Desempenho”, Guimarães, 2000;

[22] Instituto Português da Qualidade (IPQ), “Pigmentos para a coloração de materiais de construção à base de cimento e/ou cal. Especificações e métodos de ensaio.”, Norma EN 12878, Caparica, 2005;

[23] Instituto Português da Qualidade (IPQ), “Cinzas volantes para betão. Parte 1: Definição, especificações e critérios de conformidade.”, Norma Portuguesa NP EN 450, Caparica, 2008;

[24] Instituto Português da Qualidade (IPQ), “Sílica de fumo para betão.. Parte 1: Definições, especificações e critérios de conformidade.”, Norma EN 13263-1, Caparica, 2005;

[25] Instituto Português da Qualidade (IPQ), “Ensaio do betão fresco. Parte 2: Ensaio de abaixamento.”, Norma Portuguesa NP EN 12350-2, Caparica, 2009;

[26] Instituto Português da Qualidade (IPQ), “Ensaio do betão fresco. Parte 3: Ensaio Vêbê.”, Norma Portuguesa NP EN 12350-3, Caparica, 2009;

[27] Aguiar, J. B., “Materiais de Construção II”, Guimarães, 2000;

[28] Instituto Português da Qualidade (IPQ), “Ensaio do betão fresco. Parte 5: Ensaio da mesa de espalhamento.”, Norma Portuguesa NP EN 12350-5, Caparica, 2009;

[29] Instituto Português da Qualidade (IPQ), “Ensaio do betão fresco. Parte 4: Grau de compactabilidade.”, Norma Portuguesa NP EN 12350-4, Caparica, 2009;

[30] Instituto Português da Qualidade (IPQ), “Ensaio de betão endurecido – Parte 3: Resistência à compressão dos provetes.”, Norma Portuguesa NP EN 12390-3, Caparica, 2009;

[31] Bauer, Luiz Alfredo Falcão, “Materiais de construção.”, Vol. II, Rio de Janeiro, Brasil, 1988;

[32] Neville, A. M., “Properties of concrete.”, Longman, Londres, Reino Unido, 1995;

[33] Smith, R. C., “Materials of construction.”, McGraw-Hill, Columbus, E.U.A., 1979;

[34] FIB Congress, 1, Osaka, 2002, “Concrete structures in the 21st century: proceedings / First Fib Congress 2002; organized by Japan Prestressed Concrete Engineering Association, Japan Concrete Institute.”, Japan Prestressed Concrete Engineering Association, Osaka, Japão, 2002;

[35] American Concrete Institute, “ACI manual of concrete practice 2004 / American Concrete Institute.”, ACI, Farmington Hills, E.U.A., 2004;

[36] Coutinho, A. S., “Fabrico e propriedades do Betão.”, Vol. I, LNEC, Lisboa 1998;

[37] Coutinho, A. S., “Fabrico e propriedades do Betão.”, Vol. II, LNEC, Lisboa 1998;

[38] Instituto Português da Qualidade (IPQ), “Ensaio do betão endurecido. Parte 2: Execução e cura dos provetes para ensaios de resistência mecânica.”, Norma Portuguesa NP EN 12390-2, Caparica, 2009;

- [39] Chubb, Mike, “Bridge engineering. Research activities.”, Toronto, Canadá, 2005;
- [40] “Qualidade e durabilidade das estruturas de concreto; Seminário sobre Qualidade e Durabilidade das Estruturas de Concreto”; Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, Brasil, 1993;
- [41] Pereira, Hélder e Martins, João, “Execução de Estruturas de Betão”, Porto, 2008;
- [42] Cunha, Paulo, “Controlo da qualidade dos betões.”, Universidade do Minho, Guimarães, 2006;
- [43] Instituto Português da Qualidade (IPQ), “Eurocódigo 2: Projecto de estruturas de betão. Parte 1.1: Regras gerais e regras para edifícios.”, NP ENV 1992-1-1, Caparica, 1998;
- [44] Instituto Português da Qualidade (IPQ), “Execução de estruturas em betão. Parte 1: Regras gerais.”, Norma Portuguesa NP ENV 13670-1, Caparica, 2007;
- [45] Laboratório Nacional de Engenharia Civil (LNEC), “Betões - Metodologia prescritiva para uma vida útil de projecto de 50 e de 100 anos face às acções ambientais.”, Especificação LNEC E-464, Lisboa, 2005;
- [46] Laboratório Nacional de Engenharia Civil (LNEC), “Betão. Determinação do coeficiente de difusão dos cloretos por migração em regime não estacionário.”, Especificação LNEC E-462, Lisboa, 2004;
- [47] Laboratório Nacional de Engenharia Civil (LNEC), “Metodologia para estimar as propriedades de desempenho que permitem satisfazer a vida útil de projecto”, Especificação LNEC E-465, Lisboa, 2007;
- [48] Ripper, Thomaz, “Curso de durabilidade, reparação e reforço de estruturas de betão.”, IST, Lisboa, 1997;

[49] Castro, “Corrosão - Degradação das armaduras.”, Apoio ao mestrado de estruturas, geotecnia e fundações da Universidade do Minho, Guimarães, 2005;

[50] Gomes, J.P. Castro e Pereira, C. Gonilho, “Introdução ao estudo e caracterização da microestrutura do cimento e betão.”, Grupo de Construção, DEC, Universidade da Beira Interior e Apoio ao mestrado de estruturas, geotecnia e fundações da Universidade do Minho, Guimarães, 2005;

[51] Coutinho, Joana Sousa, “Durabilidade. Ataque por sulfatos.”, FEUP, Porto, 2001;

[52] Manso, Armando Costa, “Conservação e reabilitação de edifícios. Avaliação de custos e recentes desenvolvimentos.”, 2º. Simpósio Internacional Sobre Patologia, Durabilidade e Reabilitação dos Edifícios, LNEC, Lisboa, 2003;

[53] Laboratório Nacional de Engenharia Civil (LNEC), “Qualidade de produtos e empreendimentos - Marcação CE.”, Disponível em <http://www.lnec.pt/qpe/marcacao>;

[54] Camões, Aires e Ferreira, Rui Miguel - Comunicações do Seminário, “Inovação em betões: Nova normalização e produção de betões especiais.”, Construnor, Braga, 2006;

[55] American Society for Testing and Materials (ASTM), “Standard Specification for Lightweight Aggregates for Structural Concrete.”, ASTM C 330, West Conshohocken, E.U.A., 1999;

[56] American Society for Testing and Materials (ASTM), “Standard Practice for Making and Curing Concrete Test Specimens in the Laboratory.”, ASTM C 192, West Conshohocken, E.U.A., 2002;

[57] American Society for Testing and Materials (ASTM), “Standard Practice for Laboratories Testing Concrete and Concrete Aggregates for use in Construction and Criteria for Laboratory Evaluation.”, ASTM C 1077, West Conshohocken, E.U.A., 2007;

[58] American Society for Testing and Materials (ASTM), “Standard Practice for Sampling Freshly Mixed Concrete.”, ASTM C 172, West Conshohocken, E.U.A., 1999;

[59] American Society for Testing and Materials (ASTM), “Standard Practice for Making and Curing Concrete Test Specimens in the Field.”, ASTM C 31, West Conshohocken, E.U.A., 2002;

[60] American Society for Testing and Materials (ASTM), “Standard Test Method for Compressive Strength of Cylindrical Concrete Specimens.”, ASTM C 39, West Conshohocken, E.U.A., 1996;

[61] American Society for Testing and Materials (ASTM), “Method of obtaining and testing drilled cores and sawed beams of concrete.”, ASTM C 42, West Conshohocken, E.U.A., 2004;

[62] American Society for Testing and Materials (ASTM), “Standard Specification for Ready-Mixed Concrete.”, ASTM C 94, West Conshohocken, E.U.A., 2007;

[63] American Society for Testing and Materials (ASTM), “Specification for Concrete Made by Volumetric Batching and Continuous Mixing.”, ASTM C 685, West Conshohocken, E.U.A., 2007;

[64] American Concrete Institute Committee (ACI), “Specification for Structural Concrete.”, ACI 301, Farmington Hills, E.U.A., 2005;

[65] Instituto Português da Qualidade (IPQ), “Ensaio do betão endurecido. Parte 1: Forma, dimensões e outros requisitos para o ensaio de provetes e para os moldes.”, Norma Portuguesa NP EN 12390-1, Caparica, 2003;

[66] Instituto Português da Qualidade (IPQ), “Ensaio do betão fresco. Parte 1: Amostragem.”, Norma Portuguesa NP EN 12350-1, Caparica, 2009;

[67] Instituto Português da Qualidade (IPQ), “Avaliação da resistência à compressão do betão nas estruturas e em produtos prefabricados.”, Norma Portuguesa NP EN 13791, Caparica, 2008;

[68] Instituto Português da Qualidade (IPQ), “Ensaio do betão nas estruturas. Parte 1: Carotes. Extração, exame e ensaio à compressão.”, Norma Portuguesa NP EN 12504-1, Caparica, 2009;

[69] Instituto Português da Qualidade (IPQ), “Ensaio do betão endurecido. Parte 4: Resistência à compressão - Características das máquinas de ensaio.”, Norma Portuguesa NP EN 12390-4, Caparica, 2003;

[70] Instituto Português da Qualidade (IPQ), “Sistemas de gestão da qualidade. Requisitos (ISO 9001:2008).”, Norma Portuguesa NP EN ISO 9001, Caparica, 2008.

ANEXOS

- Laboratório -

Classe Pretendida	f _{ck} (MPa)	Resultados (f _{cd}) (MPa)	Média dos Resultados (f _{cm}) [Menor Média dos Resultados] (MPa)	Mínimo Resultado (f _{cm, min}) (MPa)	NP ENV 206			NP EN 206-1				Qual a classe obtida segundo a NP EN 206-1?	
					s _n	k	3 a 5 resultados	1 resultado	2 a 4 resultados	5 a 6 resultados	1 a 6 resultados		
					Condição 1 f _{cm} ≥ f _{ck} + 3	Condição 2 f _{cm, min} ≥ f _{ck} - 1	Condição 1 f _{cm} ≥ f _{ck} + 1,48.s _n	Condição 2 f _{cm, min} ≥ f _{ck} - k	1 resultado Critério 1 (1 resultado) Não aplicável	2 a 4 resultados Critério 1 (2-4 resultados) f _{cm} ≥ f _{ck} + 1	5 a 6 resultados Critério 1 (5-6 resultados) f _{cm} ≥ f _{ck} + 2	1 a 6 resultados Critério 2 f _d ≥ f _{ck} - 4	
Obra 1													
C20/25	25	18,9 18,7 19,7	19,1	18,7	x	x				x		x	C14/18
Obra 2													
C20/25	25	29,4 30,1 27,3	28,9	27,3	✓	✓				✓		✓	C22/27
Obra 3													
C20/25	25	53,5 57,7 53,8 51,1	54,0	51,1	✓	✓				✓		✓	C43/53
C20/25	25	36,9 35,8 37,3 36,8 37,9 36,3	36,6	35,1			✓	✓			✓	✓	C27/34
		35,1	[36,5]		0,94	3							
Obra 4													
C20/25	25	28,1 31,0 29,7	29,6	28,1	✓	✓				✓		✓	C23/28
C20/25	25	26,5 29,6 29,4	28,5	26,5	✓	✓				✓		✓	C22/27
C20/25	25	33,7 27,4 23,9	28,3	23,9	✓	x				✓		✓	C22/27
C20/25	25	34,0 37,6 33,2	34,9	33,2	✓	✓				✓		✓	C27/33
Obra 5													
C20/25	25	39,3 43,8 41,5	41,5	39,3	✓	✓				✓		✓	C31/40
C20/25	25	46,4 44,7 42,2	44,4	42,2	✓	✓				✓		✓	C33/43
Obra 6													
C20/25	25	34,2 35,7 35,2	35,0	34,2	✓	✓				✓		✓	C27/34
Obra 7													
C16/20	20	21,1 22,7 22,3	22,0	21,1	x	✓				✓		✓	C16/21
C16/20	20	28,7 30,1 30,4	29,7	28,7	✓	✓				✓		✓	C23/28
Obra 8													
C20/25	25	33,0 28,5 28,2 28,8	29,6	28,2	✓	✓				✓		✓	C23/28
C20/25	25	35,9 32,2 32,3	33,5	32,2	✓	✓				✓		✓	C26/32
Obra 9													
C16/20	20	18,2 18,1 19,3	18,5	18,1	x	x				x		✓	C13/17
Obra 10													
C20/25	25	30,9 30,0 32,0	31,0	30,0	✓	✓				✓		✓	C25/30
C20/25	25	33,5 32,9 33,7	33,4	32,9	✓	✓				✓		✓	C26/32
C20/25	25	34,1 31,7 34,1	33,3	31,7	✓	✓				✓		✓	C26/32
C20/25	25	34,7 37,7 36,8	36,4	34,7	✓	✓				✓		✓	C28/35
C20/25	25	34,2 34,7 35,7	34,9	34,2	✓	✓				✓		✓	C27/33
C20/25	25	28,4 29,3 27,1	28,3	27,1	✓	✓				✓		✓	C22/27
C20/25	25	29,5 29,1 30,1	29,6	29,1	✓	✓				✓		✓	C23/28
C20/25	25	31,8 30,8 32,4	31,7	30,8	✓	✓				✓		✓	C25/30
C20/25	25	35,4 40,8 39,1	38,4	35,4	✓	✓				✓		✓	C30/37
C20/25	25	27,4 27,0 28,2	27,5	27,0	x	✓				✓		✓	C21/26
C20/25	25	21,9 24,3 24,6	23,6	21,9	x	x				x		✓	C17/22
C20/25	25	26,7 28,1 30,0 31,9 31,5 31,0	29,9	26,7			✓	✓		✓	✓	✓	C22/27
C20/25	25	33,0 34,1 32,9 34,7 34,0 34,7	33,4	31,8			✓	✓		✓	✓	✓	C25/31
C20/25	25	27,1 25,2 25,6 34,3 30,9 31,4	29,9	25,2			✓	✓		✓	✓	✓	C22/27
		30,5 31,7 32,2	[29,1]										
C20/25	25	32,7 31,5 30,2 28,5 27,5 28,8	29,9	27,5			✓	✓		✓	✓	✓	C22/27
C20/25	25	24,5 23,0 20,9 27,1 27,2 27,9	25,1	20,9			x	x		x	x	x	C18/23

Classe Pretendida	f_{ck} (MPa)	Resultados (f_{cd}) (MPa)		[Média menor dos Resultados] ($f_{cm,min}$) Média dos Resultados (f_{cm}) (MPa)	Mínimo Resultado ($f_{cm,min}$) (MPa)	NP ENV 206		Qual a classe obtida segundo a NP ENV 206?	NP EN 206-1				Qual a classe obtida segundo a NP EN 206-1?	
		s_n	k			3 a 5 resultados	≥ 6 resultados		1 resultado Crítério 1 (1 resultado) Não aplicável	2 a 4 resultados Crítério 1 (2-4 resultados) $f_{cm} \geq f_{ck} + 1$	5 a 6 resultados Crítério 1 (5-6 resultados) $f_{cm} \geq f_{ck} + 2$	1 a 6 resultados Crítério 2 $f_d \geq f_{ck} - 4$		
						Condição 1 $f_{cm} \geq f_{ck} + 3$	Condição 2 $f_{cm} \geq f_{ck} - 1$	Condição 1 $f_{cm} \geq f_{ck} + 1,48 \cdot s_n$	Condição 2 $f_{cm} \geq f_{ck} - k$					
Obra 11 C20/25	25	26,7	25,5	26,4	25,5	x	✓			✓				
Obra 12 C20/25	25	34,9	35,0	34,8	34,5	✓	✓				✓			
Obra 13 C20/25	25	37,2	36,9	36,2	35,2	✓	✓				✓			
Obra 14 C20/25	25	32,8	33,3	31,9	30,7	✓	✓				✓			

Classe Pretendida	f _{ck} (MPa)	Resultados (f _{ck}) (MPa)				Média dos Resultados (f _{cm}) (MPa) [Menor Média dos Resultados] (f _{cm,min}) (MPa)	Mínimo Resultado (f _{min}) (MPa)	s _n	k	NP ENV 206			Qual a classe obtida segundo a NP ENV 206?	NP EN 206-1				Qual a classe obtida segundo a NP EN 206-1?
		Resultados (f _{ck}) (MPa)	Resultados (f _{ck}) (MPa)	Resultados (f _{ck}) (MPa)	Resultados (f _{ck}) (MPa)					3 a 5 resultados	≥ 6 resultados	1 resultado		2 a 4 resultados	5 a 6 resultados	1 a 6 resultados		
									Condição 1 f _{cm} ≥ f _{ck} + 3	Condição 2 f _{cm,min} ≥ f _{ck} - 1	Condição 1 f _{cm} ≥ f _{ck} + 1,48·s _n	Condição 2 f _{cm,min} ≥ f _{ck} - k	1 resultado	2 a 4 resultados	5 a 6 resultados	1 a 6 resultados		
													Crítério 1 (1 resultado)	Crítério 1 (2-4 resultados)	Crítério 1 (5-6 resultados)	Crítério 2		
													Crítério 1 (1 resultado)	Crítério 1 (2-4 resultados)	Crítério 1 (5-6 resultados)	Crítério 2		
Obra 1																		
C35/45	45	43,2	47,1	47,7	51,2	53,3	54,6	49,5	43,2	4,29	3	✓	✓		✓	✓	C37/47	
C35/45	45	52,8	53,5	54,0	55,3	56,0	57,7	54,9	52,8	1,81	3	✓	✓	✓	✓	✓	C42/52	
C35/45	45	53,3	54,1	54,5	54,5	56,3	57,2	55,0	53,3	1,46	3	✓	✓	✓	✓	✓	C43/53	
C35/45	45	29,2	31,6	32,5	33,4	36,1	38,5	33,6	29,2	3,31	3	x	x	x	x	x	C25/31	
C35/45	45	27,2	32,9	33,1	33,4	37,7	38,2	33,8	27,2	3,99	3	x	x	x	x	x	C25/31	
C35/45	45	27,6	30,6	32,8	33,7	35,2	35,5	32,6	27,6	3,01	3	x	x	x	x	x	C25/30	
C35/45	45	27,7	28,4	28,9	29,1	29,9	29,9	29,0	27,7	0,86	3	x	x	x	x	x	C22/27	
C35/45	45	32,1	33,7	39,3	42,5	43,0	43,9	39,1	32,1	5,06	3	x	x	x	x	x	C29/36	
C35/45	45	32,5	32,8	33,5	33,7	34,4	34,6	33,9	32,5	0,99	3	x	x	x	x	x	C25/31	
		34,6	35,4					[33,5]									C26/32	
Obra 2																		
C20/25	25	25,6	25,9	27,4				26,3	25,6			✓		✓			C20/25	
Obra 3																		
C25/30	30	29,3	29,0	28,9	28,5	29,1	27,5	28,7	27,5	0,65	3	x	✓		x	✓	C21/26	
C25/30	30	28,7	29,0	31,1	31,1	31,8	31,7	31,6	28,7	1,94	3	x	✓		x	✓	C23/28	
		33,4	32,8	34,7				[30,6]										
C25/30	30	32,0	32,5	33,1	31,5	30,3	31,2	31,8	30,3	0,99	3	✓	✓		x	✓	C24/29	
C25/30	30	30,5	30,6	32,0	34,5	34,5	35,0	33,5	30,5	1,95	3	✓	✓		✓	✓	C25/30	
		34,4	35,6	34,7				[32,8]										
C25/30	30	33,2	35,3	33,0	31,7	31,4	30,6	32,5	30,6	1,68	3	✓	✓		✓	✓	C25/30	
Obra 4																		
C25/30	30	29,2	27,2	29,5	30,6	30,3	27,9	29,3	27,2	1,22	3	x	✓		x	✓	C22/27	
		29,2	28,9	30,9				[29,1]										
C25/30	30	34,5	33,7	31,0	33,8	30,9	34,2	33,4	30,9	1,48	3	✓	✓		✓	✓	C25/31	
		35,2	33,8	33,3				[33,1]										
Obra 5																		
C20/25	25	23,1	23,4	23,4	17,7	23,1	23,2	22,5	17,7	2,11	3	x	x		x	x	C16/20	
		23,4																
Obra 6																		
C20/25	25	22,7	23,9	24,2				23,6	22,7			x	x		x	✓	C17/22	
C20/25	25	22,6	21,4	22,9	26,7			23,4	21,4			x	x		x	✓	C17/22	
C20/25	25	16,4	16,3	20,8				17,8	16,3			x	x		x	x	C12/16	
C16/20	20	23,5	24,0	24,8	21,0			23,3	21,0			✓	✓		✓	✓	C17/22	
Obra 7																		
C25/30	30	34,3	38,2	31,4	39,6	33,4	33,0	35,0	31,4	3,21	3	✓	✓		✓	✓	C27/33	
Obra 8																		
C20/25	25	33,0	33,4	35,2				33,9	33,0			✓	✓		✓	✓	C26/32	
C20/25	25	29,5	33,0	29,5				30,7	29,5			✓	✓		✓	✓	C24/29	

Classe Pretendida	f _{ck} (MPa)	Resultados (f _{cd}) (MPa)		Média dos Resultados (f _{cm}) [Menor Média dos Resultados] (MPa)	Mínimo Resultado (f _{cm, min}) (MPa)	NP ENV 206		NP EN 206-1				Qual a classe obtida segundo a NP EN 206-1?		
		f _{ck}	f _{td}			s _n	k	3 a 5 resultados	≥ 6 resultados	1 resultado	2 a 4 resultados		5 a 6 resultados	1 a 6 resultados
						Condição 1 f _{cm} ≥ f _{ck} + 3	Condição 2 f _{cm, min} ≥ f _{ck} - 1	Condição 1 f _{cm} ≥ f _{ck} + 1,48.s _n	Condição 2 f _{cm, min} ≥ f _{ck} - k	1 resultado Critério 1 (1 resultado) Não aplicável	2 a 4 resultados Critério 1 (2-4 resultados) f _{cm} ≥ f _{ck} + 1	5 a 6 resultados Critério 1 (5-6 resultados) f _{cm} ≥ f _{ck} + 2	1 a 6 resultados Critério 2 f _d ≥ f _{ck} - 4	
Obra 1														
C16/20	20	16,3	16,6	16,5	16,3	x	x				x		✓	C10/13
Obra 2														
C25/30	30	33,8	32,7	30,7	30,0			x	✓			x	✓	C24/29
Obra 3														
C20/25	25	24,8	24,9	25,2	24,8	x	✓				x		✓	C17/22
C20/25	25	18,7	20,2	21,0	18,7	x	x				x		x	C13/17
C20/25	25	19,5	20,6	19,9	19,5	x	x				x		x	C13/17
C20/25	25	20,5	19,4	21,2	19,4	x	x				x		x	C13/17
Obra 4														
C20/25	25	22,7	22,6	24,0	22,6	x	x				x		✓	C16/20
C20/25	25	21,7	23,1	27,0	21,7	x	x				x		✓	C16/21
C20/25	25	19,4	18,9	22,3	18,9	x	x				x		x	C13/17
C20/25	25	23,3	24,2	25,7	23,3	x	x				x		✓	C16/21
Obra 5														
C20/25	25	19,4	18,4	25,5	18,4	x	x				x		x	C15/19
C20/25	25	23,6	25,4	22,6	22,6	x	x				x		✓	C16/20
C20/25	25	24,5	28,0	25,8	24,5	x	✓				✓		✓	C18/23
C20/25	25	26,6	29,7	28,8	26,6	✓	✓				✓		✓	C20/25
C20/25	25	21,8	22,0	17,3	17,3	x	x				x		x	C13/17
Obra 6														
C20/25	25	30,3	28,9	26,9	26,9	✓	✓				✓		✓	C20/25
C20/25	25	31,9	31,5	27,9	27,9	✓	✓				✓		✓	C22/27
Obra 7														
C20/25	25	31,3	32,5	30,5	30,5	✓	✓				✓		✓	C23/28

Classe Pretendida	f_{ck} (MPa)	Resultados (f_{ci}) (MPa)			Média dos Resultados (f_{cm}) (MPa)		Mínimo Resultado ($f_{cm, min}$) (MPa)	s_n	k	NP ENV 206			NP EN 206-1				Qual a classe obtida segundo a NP EN 206-1?
		f_{ck}	$f_{ck} + 1,48 \cdot s_n$	$f_{ck} - 1,48 \cdot s_n$	3 a 5 resultados	≥ 6 resultados				Qual a classe obtida segundo a NP ENV 206?	1 resultado (1 resultado) Não aplicável	2 a 4 resultados (2-4 resultados) $f_{cm} \geq f_{ck} + 1$	5 a 6 resultados (5-6 resultados) $f_{cm} \geq f_{ck} + 2$	1 a 6 resultados (1-6 resultados) $f_d \geq f_{ck} - 4$			
Obra 1																	
C20/25	25	28,1	29,4	26,3	26,0	27,5	26,0			x	✓				✓	C19/24	C21/26
Obra 2																	
C20/25	25	41,3	42,3	39,5	39,5	41,0	39,5			✓	✓				✓	C30/38	C31/40
Obra 3																	
C20/25	25	26,6	26,4	25,9	25,9	26,3	25,9			x	✓				✓	C18/23	C20/25
C20/25	25	20,0	21,2	21,7	20,0	21,0	20,0			x	x				x	C14/18	C16/20
C20/25	25	26,7	23,6	28,1	23,6	27,8	23,6	2,84	3			x	✓		✓	C18/23	C20/25
C20/25	25	26,1	26,1	25,5	25,5	26,9	25,5			x	✓				✓	C18/23	C20/25
Obra 4																	
C20/25	25	33,1	32,0	34,8	32,0	33,3	32,0			✓	✓				✓	C25/30	C26/32
Obra 5																	
C25/30	30	35,5	37,3	39,4	34,8	37,1	34,8	1,68	3		✓	✓			✓	C27/34	C28/35
C25/30	30	35,3	39,9	36,0	33,9	36,4	33,9	2,29	3		✓	✓			✓	C27/33	C27/34
C25/30	30	35,1	36,4	35,2	33,9	35,6	33,9	1,43	3		✓	✓			✓	C27/33	C27/33
Obra 6																	
C20/25	25	13,3	12,3	12,5	12,3	12,7	12,3			x	x				x	C7/9	C8/11
Obra 7																	
C16/20	20	29,6	25,2	17,5	17,5	24,1	17,5			✓	x				✓	C14/18	C16/21
C16/20	20	15,5	16,6	24,6	15,5	18,9	15,5			x	x				x	C12/15	C13/17
Obra 8																	
C20/25	25	14,7	13,9	11,2	11,2	13,3	11,2			x	x				x	C8/10	C9/12
C20/25	25	18,7	17,5	18,3	17,5	18,2	17,5			x	x				x	C12/15	C13/17
C16/20	20	7,8	7,2	7,5	7,2	7,5	7,2			x	x				x	C3/4	C4/6
C20/25	25	25,7	25,1	26,9	25,1	25,9	25,1			x	✓				✓	C17/22	C19/24
C20/25	25	30,9	27,6	27,0	27,0	28,5	27,0			✓	✓				✓	C20/25	C22/27
C20/25	25	25,1	24,5	23,7	23,7	24,4	23,7			x	x				x	C16/21	C18/23
Obra 9																	
C20/25	25	30,5	30,0	37,4	35,7	33,4	30,0			✓	✓				✓	C25/30	C26/32
C20/25	25	32,1	32,9	32,3	33,0	32,6	32,1			✓	✓				✓	C24/29	C25/31
C20/25	25	29,4	30,4	28,1	33,1	30,3	28,1			✓	✓				✓	C22/27	C24/29
C20/25	25	36,6	36,4	35,8	34,0	35,7	34,0			✓	✓				✓	C26/32	C27/34
C20/25	25	34,4	33,4	29,7	34,1	32,9	29,7			✓	✓				✓	C24/29	C25/31
C20/25	25	34,4	31,6	31,7	30,1	32,0	30,1			✓	✓				✓	C24/29	C25/31
C20/25	25	40,1	32,6	32,8	32,7	34,6	32,6			✓	✓				✓	C25/31	C27/33
C20/25	25	31,1	30,7	34,8	36,7	33,3	30,7			✓	✓				✓	C25/30	C26/32
C20/25	25	36,2	39,3	24,8	35,7	34,4	24,8			✓	✓				✓	C20/25	C23/28
C20/25	25	28,0	28,6	27,8	29,7	28,5	27,8			✓	✓				✓	C20/25	C22/27
Obra 10																	
C20/25	25	23,1	20,2	19,7	19,7	21,0	19,7			x	x				x	C14/18	C16/20
C20/25	25	28,5	29,6	29,8	44,8	33,2	28,5			✓	✓				✓	C24/29	C26/32
C20/25	25	26,8	28,2	30,3	30,3	28,5	26,8			✓	✓				✓	C20/25	C22/27
C25/30	30	38,1	36,2	37,6	36,1	36,5	33,2	1,78	3			✓	✓		✓	C27/33	C27/34
C25/30	30	41,8	30,5	36,0	37,4	36,3	30,5	4,04	3			✓	✓		✓	C25/30	C27/34

Classe Pretendida	f _{ck} (MPa)	Resultados (f _{cd}) (MPa)				Média dos Resultados (f _{cm}) [Menor Média dos Resultados] (f _{cm,men}) (MPa)	Mínimo Resultado (f _{cm,ín}) (MPa)	s _n	k	NP ENV 206				Qual a classe obtida segundo a NP ENV 206?	NP EN 206-1				Qual a classe obtida segundo a NP EN 206-1?
		Resultados (f _{cd})	Resultados (f _{cd})	Resultados (f _{cd})	Resultados (f _{cd})					3 a 5 resultados	≥ 6 resultados	1 resultado	2 a 4 resultados		5 a 6 resultados	1 a 6 resultados			
										Condição 1 f _{cm} ≥ f _{ck} + 3	Condição 2 f _{cm,ín} ≥ f _{ck} - 1	Condição 1 f _{cm} ≥ f _{ck} + 1,48·s _n	Condição 2 f _{cm,ín} ≥ f _{ck} - k	resultado Critério 1 (1 resultado) Não aplicável	resultados Critério 1 (2-4 resultados) f _{cm} ≥ f _{ck} + 1	resultados Critério 1 (5-6 resultados) f _{cm} ≥ f _{ck} + 2	1 a 6 resultados Critério 2 f _d ≥ f _{ck} - 4		
Obra 21 (Continuação)																			
C20/25	25	26,3	26,8	24,0	24,1	25,3	24,0			x	✓				x		✓	C19/24	
C20/25	25	29,7	30,6	21,8	24,4	26,6	21,8			x	x				✓		✓	C20/25	
C20/25	25	25,9	29,5	28,7	30,4	28,6	25,9			✓	✓				✓		✓	C22/27	
C20/25	25	26,9	26,6	26,7	25,4	26,4	25,1	0,98	3			✓	✓			x	✓	C19/24	
C20/25	25	31,7	28,2	25,7	27,6	28,0	25,7	2,06	3		✓	✓	✓		✓		✓	C21/26	
C20/25	25	20,7	23,5	26,3		23,5	20,7			x	x						x	C17/22	
C20/25	25	26,0	26,1	26,7	27,4	27,0	26,0			x	✓				✓		✓	C21/26	
C20/25	25	23,8	23,0	22,5	20,3	22,2	20,3	1,29	3			x	x			x	✓	C16/20	
C20/25	25	29,8	25,1	29,6		28,2	25,1			✓	✓				✓		✓	C22/27	
C20/25	25	26,9	26,6	29,5		27,7	26,6			x	✓				✓		✓	C21/26	
C20/25	25	25,4	29,1	26,6		27,0	25,4			x	✓				✓		✓	C21/26	
C20/25	25	27,2	29,3	29,1		28,5	27,2			✓	✓				✓		✓	C22/27	
C20/25	25	21,1	24,2	24,5		23,3	21,1			x	x				x		✓	C17/22	
C20/25	25	26,3	22,5	24,4		24,4	22,5			x	x				x		✓	C18/23	
C20/25	25	21,3	21,6	20,5	23,4	21,9	20,5	1,02	3			x	x				x	C15/19	
C20/25	25	21,5	20,7	19,6		20,6	19,6			x	x				x		x	C15/19	
C20/25	25	25,3	28,3	27,8	27,0	27,6	25,3	1,62	3			✓	✓			✓	✓	C20/25	
C20/25	25	21,8	20,6	23,8	23,4	22,6	20,6	1,42	3			x	x				x	C16/20	
C20/25	25	23,4	22,1	21,7		22,4	21,7			x	x						x	C16/21	
C20/25	25	16,3	19,3	17,2		17,6	16,3			x	x						x	C11/14	
C20/25	25	28,4	27,9	28,1		28,1	27,9			✓	✓				✓		✓	C20/25	
C20/25	25	25,5	24,2	26,1		25,3	24,2			x	✓				x		✓	C17/22	
C20/25	25	23,7	24,0	28,6		25,4	23,7			x	x				x		✓	C17/22	
C20/25	25	27,4	26,4	24,3		26,0	24,3			x	✓				✓		✓	C18/23	
C20/25	25	24,9	22,2	24,4		23,8	22,2			x	x				x		✓	C16/20	
C20/25	25	28,9	28,1	29,1		28,7	28,1			✓	✓				✓		✓	C20/25	
C20/25	25	22,9	20,8	21,7		21,8	20,8			x	x				x		x	C14/18	
C20/25	25	26,9	26,6	24,5		26,0	24,5			x	✓				✓		✓	C18/23	
C20/25	25	21,7	20,9	20,0		20,9	20,0			x	x				x		x	C13/17	
C20/25	25	22,8	23,6	24,8		23,7	22,8			x	x				x		✓	C16/20	
C20/25	25	25,9	24,9	24,3		25,0	24,3			x	✓				x		✓	C17/22	
C20/25	25	28,7	25,7	28,9		27,8	25,7			x	✓				✓		✓	C19/24	
C20/25	25	21,8	24,4	25,2		23,8	21,8			x	x				x		✓	C16/20	
C20/25	25	23,0	23,5	25,1		23,9	23,0			x	x				x		✓	C16/20	
Obra 22																			
C20/25	25	24,7	24,4	21,2		23,4	21,2			x	x				x		✓	C16/20	
C20/25	25	24,5	24,1	25,6		24,7	24,1			x	✓				x		✓	C16/21	
C20/25	25	20,4	25,0	23,8		23,1	20,4			x	x				x		x	C16/20	
Obra 23																			
C20/25	25	22,3	23,7	23,6	25,2	23,7	22,3			x	x				x		✓	C16/20	
C20/25	25	24,7	24,4	21,2		23,4	21,2			x	x				x		✓	C17/22	
C20/25	25	24,5	24,1	25,6		24,7	24,1			x	✓				x		✓	C18/23	
C20/25	25	20,4	25,0	23,8		23,1	20,4			x	x				x		x	C17/22	

Classe Pretendida	f _{ck} (MPa)	Resultados (f _{ci}) (MPa)			Média dos Resultados (f _{cm}) [Menor Média dos Resultados] (f _{cm,med}) (MPa)	Mínimo Resultado (f _{cm,inf}) (MPa)	NP ENV 206		NP EN 206-1				Qual a classe obtida segundo a NP EN 206-1?			
		s _n	k	3 a 5 resultados			≥ 6 resultados	1 resultado	2 a 4 resultados	5 a 6 resultados	1 a 6 resultados					
								Condição 1 f _{cm} ≥ f _{ck} + 3	Condição 2 f _{cm} ≥ f _{ck} - 1	Condição 1 f _{cm} ≥ f _{ck} + 1,48.s _n	Condição 2 f _{cm,inf} ≥ f _{ck} - k	1 resultado Critério 1 (1 resultado) Não aplicável	2 a 4 resultados Critério 1 (2-4 resultados) f _{cm} ≥ f _{ck} + 1	5 a 6 resultados Critério 1 (5-6 resultados) f _{cm} ≥ f _{ck} + 2	1 a 6 resultados Critério 2 f _d ≥ f _{ck} - 4	
Obra 1																
C25/30	30	31,0	26,5	28,7	28,7	26,5		x	x				x		✓	C22/27
Obra 2																
C20/25	25	24,2	26,2	22,6	20,7	20,7		x	x				x		x	C17/22
C20/25	25	23,3	25,6	24,8	25,1	24,4	23,3			x	✓			x	✓	C17/22
C20/25	25	20,0	18,7	18,8	18,7	20,0	17,8			x	x			x	✓	C13/17
C20/25	25	27,3	27,4	27,5				x	✓				✓		✓	C21/26
C20/25	25	26,6	28,3	27,9				x	✓				✓		✓	C21/26
C20/25	25	27,8	30,7	32,8				✓	✓				✓		✓	C24/29
Obra 3																
C20/25	25	23,0	25,8	24,9				x	x				x		✓	C18/23
C20/25	25	18,7	18,3	19,0				x	x				x		✓	C13/17
Obra 4																
C20/25	25	32,9	36,0	30,3	31,4			✓	✓				✓		✓	C25/31
Obra 5																
C20/25	25	26,0	22,8	24,5				x	x				x		✓	C18/23
Obra 6																
C20/25	25	24,0	24,2	24,6				x	✓				x		✓	C18/23
C20/25	25	26,9	28,6	27,9				x	✓				x		✓	C21/26
C20/25	25	29,3	28,6	27,2				✓	✓				✓		✓	C22/27
C20/25	25	26,0	26,5	24,9				x	✓				x		✓	C19/24
C20/25	25	35,6	34,0	33,2				✓	✓				✓		✓	C27/33
C20/25	25	28,7	28,9	30,8				✓	✓				✓		✓	C23/28
C20/25	25	24,9	28,5	27,4				x	✓				✓		✓	C20/25
Obra 7																
C16/20	20	21,7	19,8	21,7	20,8	20,8	21,0			x	✓			x	✓	C15/19
C16/20	20	28,7	32,0	29,2	31,7	30,7	29,4			✓	✓			✓	✓	C23/28
C20/25	25	27,1	26,5	25,6	27,9	26,7	25,3			✓	✓			x	✓	C19/24
C20/25	25	30,1	29,1	29,4	28,5	32,9	30,4			✓	✓			✓	✓	C23/28
Obra 8																
C16/20	20	21,3	22,0	24,6				x	✓				✓		✓	C16/21
C16/20	20	19,2	18,6	19,3				x	x				x		✓	C14/18
C16/20	20	25,5	28,6	26,2				✓	✓				✓		✓	C20/25
Obra 9																
C20/25	25	26,6	22,5	27,3	26,4			x	x				x		✓	C19/24
C20/25	25	22,2	19,2	20,2	19,4			x	x				x		x	C15/19
C20/25	25	26,2	25,1	23,7				x	x				x		✓	C19/24
C20/25	25	26,3	29,7	27,7				x	✓				✓		✓	C21/26
Obra 10																
C20/25	25	21,8	23,7	33,7	33,5			✓	x				✓		✓	C20/25
Obra 11																
C20/25	25	17,6	18,6	18,1				x	x				x		✓	C13/17

Classe Pretendida	f _{ck} (MPa)	Resultados (f _c) (MPa)			Média dos Resultados (f _{cm}) (MPa) [Menor Média dos Resultados] (f _{cm,men}) (MPa)	Mínimo Resultado (f _{cmn}) (MPa)	s _n	k	NP ENV 206			Qual a classe obtida segundo a NP EN 206-1?		
		f _{ck}	f _{ck} + 3	f _{ck} - 3					3 a 5 resultados	≥ 6 resultados	1 resultado (1 resultado) Não aplicável		2 a 4 resultados (2-4 resultados) f _{cm} ≥ f _{ck} + 1	5 a 6 resultados (5-6 resultados) f _{cm} ≥ f _{ck} + 2
								NP ENV 206			NP EN 206-1			
								3 a 5 resultados			1 a 6 resultados			
								Condição 1 f _{cm} ≥ f _{ck} + 3			Condição 1 f _{cm} ≥ f _{ck} + 1			
								Condição 2 f _{cm} ≥ f _{ck} - 1			Condição 2 f _{cm} ≥ f _{ck} + 2			
								Condição 1 f _{cm} ≥ f _{ck} + 1,48.s _n			Condição 1 f _{cm} ≥ f _{ck} + 2			
								Condição 2 f _{cm} ≥ f _{ck} - k			Condição 2 f _d ≥ f _{ck} - 4			
Obra 12														
C16/20	20	13,6	14,1	14,2	14,0	13,6			x				x	C10/13
C16/20	20	31,1	29,1	32,8	31,0	29,1			✓				✓	C25/30
C16/20	20	15,6	16,1	18,8	17,2	15,6	18,4	17,1	x				x	C12/16
C16/20	20	28,5	28,2	28,8	28,2	27,0	28,7	27,0	✓				✓	C22/27
C16/20	20	21,3	21,7	20,6	21,8	20,6	21,8	23,7	x				✓	C16/20
C16/20	20	22,0	21,3	22,8	22,1	21,3	22,4	22,4	x				✓	C16/21
C16/20	20	23,8	22,8	22,4	22,9	22,3	22,3	23,6		0,67	3		✓	C16/20
C16/20	20	22,7	23,0	23,8	22,8	22,0	22,4	23,0		0,61	3		✓	C16/20
C16/20	20	26,2	25,8	26,0	25,4	24,4	24,5	25,5		0,77	3		✓	C18/23
Obra 13														
C20/25	25	24,0	20,7	23,0	22,6	20,7			x				x	C16/21
C20/25	25	32,5	31,3	27,1	30,3	27,1			✓				✓	C24/29
C20/25	25	31,2	31,6	32,4	31,7	31,2			✓				✓	C25/30
C20/25	25	34,2	28,2	32,7	31,7	28,2			✓				✓	C25/30
C20/25	25	27,7	29,9	31,5	28,9	26,5	26,5		✓				✓	C22/27
C20/25	25	31,2	31,3	30,9	31,1	30,9			✓				✓	C25/30
C20/25	25	30,4	32,6	31,6	31,5	30,4			✓				✓	C25/30
C20/25	25	30,9	29,6	30,8	30,4	29,6			✓				✓	C24/29
C20/25	25	27,9	29,4	28,4	27,8	25,4	25,4		x				✓	C21/26
Obra 14														
C20/25	25	21,4	21,8	21,4	21,5	21,4			x				✓	C16/20
C20/25	25	19,9	19,9	18,3	19,4	18,3			x				x	C14/18
C20/25	25	18,6	18,5	18,3	18,5	18,3			x				x	C13/17
Obra 15														
C16/20	20	22,6	17,9	14,3	18,3	14,3			x				x	C13/17
Obra 16														
C20/25	25	22,0	25,3	24,3	23,9	22,0			x				✓	C17/22
Obra 17														
C20/25	25	30,9	31,6	33,0	31,8	30,9			✓				✓	C25/30
C20/25	25	31,6	32,5	31,2	31,8	31,2			✓				✓	C25/30
C20/25	25	29,9	30,2	30,3	30,1	29,9			✓				✓	C24/29
C20/25	25	32,1	32,3	31,2	31,9	31,2			✓				✓	C25/30
C20/25	25	26,0	21,3	25,1	24,1	21,3			x				✓	C18/23
C20/25	25	24,8	27,2	27,5	26,5	24,8			x				✓	C20/25
C20/25	25	25,9	25,8	26,0	25,9	25,8			✓				✓	C19/24
C20/25	25	19,8	21,5	21,4	20,9	19,8			x				x	C15/19
C20/25	25	23,6	25,7	24,0	24,4	23,6			x				✓	C18/23
Obra 18														
C16/20	20	17,7	19,1	17,0	17,9	17,0			x				x	C12/16
Obra 19														
C16/20	20	14,8	15,1	17,6	15,8	14,8			x				x	C11/14

Classe Pretendida	f _{ck} (MPa)	Resultados (f _{ck}) (MPa)				Média dos Resultados (f _{cm,med}) (MPa)	Mínimo Resultado (f _{cm,min}) (MPa)	NP ENV 206				Qual a classe obtida segundo a NP ENV 206?	NP EN 206-1				Qual a classe obtida segundo a NP EN 206-1?
		s _n	k	3 a 5 resultados	≥ 6 resultados			Condição 1 f _{cm} ≥ f _{ck} + 3	Condição 2 f _{cm,min} ≥ f _{ck} - 1	Condição 1 f _{cm} ≥ f _{ck} + 1,48.s _n	Condição 2 f _{cm,min} ≥ f _{ck} - k		1 resultado (1 resultado) Não aplicável	2 a 4 resultados (2-4 resultados) f _{cm} ≥ f _{ck} + 1	5 a 6 resultados (5-6 resultados) f _{cm} ≥ f _{ck} + 2	1 a 6 resultados (1-6 resultados) f _d ≥ f _{ck} - 4	
Obra 20																	
C16/20	20	22,0	22,2	26,1	22,0	19,2	22,3	19,2	x	✓			✓				C16/21
Obra 21																	
C30/37	37	62,4	63,7	61,4	61,3	64,6	62,9	61,3	1,43	3	✓			✓			C50/60
Obra 22																	
C20/25	25	27,8	26,7	28,3	27,8	28,3	27,7	26,7	0,60	3	✓			✓			C20/25
Obra 23																	
C20/25	25	22,9	22,5	21,9	27,2	27,1	25,1	21,9	2,94	3	x				x		C18/23
Obra 24																	
C20/25	25	18,0	19,2	19,0			18,7	18,0			x					x	C13/17
Obra 25																	
C20/25	25	30,7	31,6	31,1			31,1	30,7			✓						C25/30
Obra 26																	
C20/25	25	28,6	26,7	28,4			27,9	26,7			x						C21/26
Obra 27																	
C20/25	25	30,4	31,2	30,4			30,7	30,4			✓						C24/29
C20/25	25	24,7	24,7	25,1			24,8	24,7			x						C18/23
C20/25	25	28,6	28,1	27,2			28,0	27,2			✓						C22/27
C20/25	25	23,6	24,0	23,8			23,8	23,6			x						C17/22
Obra 28																	
C25/30	30	46,6	45,3	43,9	44,1	45,1	45,1	43,9	1,00	3	✓						C33/43
C25/30	30	30,5	28,2	29,3	32,3	33,0	30,7	28,2	1,79	3	x						C23/28
C25/30	30	34,9	37,1	37,8	36,0	36,4	36,5	34,9	1,00	3	✓						C27/34
Obra 29																	
C16/20	20	25,9	28,9	31,3	32,8		29,7	25,9			✓						C23/28

Classe Pretendida	f _{ck} (MPa)	Resultados (f _{cd}) (MPa)			Média dos Resultados (f _{cm}) [Menor Média dos Resultados] (MPa)	Mínimo Resultado (f _{min}) (MPa)	NP ENV 206			Qual a classe obtida segundo a NP ENV 206?	NP EN 206-1					Qual a classe obtida segundo a NP EN 206-1?	
		f _{ck}	f _{td}	f _{td}			s _n	k	3 a 5 resultados		≥ 6 resultados	1 resultado	2 a 4 resultados	5 a 6 resultados	1 a 6 resultados		
								Condição 1 f _{cm} ≥ f _{ck} + 3	Condição 2 f _{cm} ≥ f _{ck} - 1	Condição 1 f _{cm} ≥ f _{ck} + 1,48.s _n	Condição 2 f _{cm} ≥ f _{ck} - k	1 (1 resultado) Não aplicável	2 a 4 resultados Critério 1 (2-4 resultados) f _{cm} ≥ f _{ck} + 1	5 a 6 resultados Critério 1 (5-6 resultados) f _{cm} ≥ f _{ck} + 2	1 a 6 resultados Critério 2 f _d ≥ f _{ck} - 4		
Obra 1																	
C20/25	25	27,7	22,9	27,6	26,1	22,9		x	x				✓		✓		C20/25
Obra 2																	
C25/30	30	41,7	38,7	38,7	41,1	38,7	2,11	3		✓	✓			✓	✓		C31/39
C25/30	30	28,1	28,0	26,2	27,1	26,2	0,87	3		x	x			x	✓		C20/25
Obra 3																	
C20/25	25	50,4	51,4	49,3	49,2	46,7	1,66	3		✓	✓			✓	✓		C37/47
C20/25	25	47,8	49,6	51,6	49,7	47,8			✓						✓		C38/48
C20/25	25	42,9	40,9	43,0	43,6	40,9	2,53	3		✓	✓			✓	✓		C32/41
Obra 4																	
C20/25	25	26,1	20,0	13,1	19,7	13,1		x	x						x		C13/17
C20/25	25	27,5	30,0	25,9	28,1	22,1	3,69	3		x	✓			✓	✓		C21/26
C20/25	25	26,9	28,6	28,6	26,0	23,4	2,40	3		x	✓			x	✓		C19/24
C20/25	25	18,8	29,7	28,3	26,8	18,8		x	x						x		C17/22
Obra 5																	
C20/25	25	22,1	19,9	17,5	19,8	17,5		x	x						x		C14/18
C20/25	25	19,1	19,3	18,2	18,9	18,2		x	x						x		C13/17
C20/25	25	16,1	15,6	19,7	18,2	15,6		x	x						x		C13/17
C20/25	25	26,0	24,7	21,8	24,8	21,8		x	x						✓		C18/23
Obra 6																	
C20/25	25	28,7	30,4	21,4	26,8	21,4		x	x						✓		C20/25
Obra 7																	
C20/25	25	15,7	15,7	16,9	18,4	15,7	2,83	3		x	x			x	x		C12/16
C20/25	25	17,4	19,8	21,2	18,5	16,2	1,80	3		x	x			x	x		C12/16
Obra 8																	
C16/20	20	24,6	25,3	25,3	25,1	24,6		✓	✓						✓		C19/24
C16/20	20	26,0	26,8	27,4	26,7	26,0		✓	✓						✓		C20/25
C16/20	20	22,7	22,2	22,3	22,4	22,2		x	✓						✓		C16/21
C20/25	25	28,5	26,2	24,6	26,4	24,6		x	✓						✓		C20/25
C20/25	25	25,7	26,8	26,0	26,2	25,7		x	✓						✓		C20/25
C16/20	20	18,3	19,6	20,6	19,5	18,3		x	x						✓		C14/18
C20/25	25	23,9	26,4	27,4	25,9	23,9		x	x						✓		C19/24
C16/20	20	20,8	20,1	18,8	19,9	18,8		x	x						✓		C14/18
C20/25	25	27,0	27,5	26,6	27,0	26,6		✓	✓						✓		C21/26
C20/25	25	40,3	30,8	38,6	36,6	30,8		✓	✓						✓		C27/34
C16/20	20	23,8	23,7	23,3	23,6	23,3		✓	✓						✓		C17/22
C20/25	25	26,0	31,3	31,3	29,5	26,0		✓	✓						✓		C23/28
C16/20	20	21,2	20,6	21,5	22,6	20,6	1,81	3		✓	✓			✓	✓		C16/20
C16/20	20	23,1	22,5	25,0	23,3	22,5	0,87	3		✓	✓			✓	✓		C16/21
C20/25	25	31,9	32,9	34,0	32,9	31,9		✓	✓						✓		C25/31
C16/20	20	24,8	25,1	25,6	25,2	24,8		✓	✓						✓		C19/24
C16/20	20	27,0	27,3	26,8	32,1	26,8	5,53	3		✓	✓			✓	✓		C25/30

Obra 8 (Continua)

Classe Pretendida	f _{ck} (MPa)	Resultados (f _{ci}) (MPa)						Média dos Resultados (f _{cm}) (MPa) [Menor Média dos Resultados] (f _{cm,min}) (MPa)	Mínimo Resultado (f _{cmi}) (MPa)	NP ENV 206			Qual a classe obtida segundo a NP ENV 206?	NP EN 206-1				Qual a classe obtida segundo a NP EN 206-1?		
		f _{ck}	24,7	24,6	25,1	46,1	46,6			46,9	s _n	k		3 a 5 resultados	≥ 6 resultados	1 resultado (1 resultado) Não aplicável	2 a 4 resultados (2-4 resultados) f _{cm} ≥ f _{ck} + 1		5 a 6 resultados (5-6 resultados) f _{cm} ≥ f _{ck} + 2	1 a 6 resultados (1-6 resultados) f _d ≥ f _{ck} - 4
										Condição 1 f _{cm} ≥ f _{ck} + 3	Condição 2 f _{cmi} ≥ f _{ck} - 1	Condição 1 f _{cm} ≥ f _{ck} + 1,48.s _n	Condição 2 f _{cmi} ≥ f _{ck} - k							
Obra 8 (Continuação)																				
C16/20	20	24,7	24,6	25,1	46,1	46,6	46,9	35,7	24,6	11,9	3	x	x	✓	C14/18	1 resultado	2 a 4 resultados	5 a 6 resultados	1 a 6 resultados	C23/28
C16/20	20	26,6	25,3	29,2	29,2	29,2	27,0	27,0	25,3	✓	✓	✓	✓	✓	C19/24	1 resultado	2 a 4 resultados	5 a 6 resultados	1 a 6 resultados	C21/26
C20/25	25	31,0	29,8	32,7	32,7	32,7	31,2	31,2	29,8	✓	✓	✓	✓	✓	C23/28	1 resultado	2 a 4 resultados	5 a 6 resultados	1 a 6 resultados	C25/30
C25/30	30	38,3	41,1	41,8	24,5	25,4	27,0	33,0	24,5	8,21	3	x	x	x	C16/20	1 resultado	2 a 4 resultados	5 a 6 resultados	1 a 6 resultados	C23/28
C20/25	25	32,7	34,0	30,0	30,0	30,0	32,2	32,2	30,0	✓	✓	✓	✓	✓	C24/29	1 resultado	2 a 4 resultados	5 a 6 resultados	1 a 6 resultados	C25/31
C16/20	20	28,2	24,4	26,0	26,0	26,0	26,2	26,2	24,4	✓	✓	✓	✓	✓	C18/23	1 resultado	2 a 4 resultados	5 a 6 resultados	1 a 6 resultados	C20/25
C20/25	25	26,4	26,5	26,2	26,2	26,2	26,4	26,4	26,2	x	✓	✓	✓	✓	C18/23	1 resultado	2 a 4 resultados	5 a 6 resultados	1 a 6 resultados	C20/25
C16/20	20	22,2	22,5	22,0	22,0	22,0	22,2	22,2	22,0	x	✓	✓	✓	✓	C15/19	1 resultado	2 a 4 resultados	5 a 6 resultados	1 a 6 resultados	C16/21
C16/20	20	23,7	26,3	26,6	26,6	26,6	25,5	25,5	23,7	✓	✓	✓	✓	✓	C17/22	1 resultado	2 a 4 resultados	5 a 6 resultados	1 a 6 resultados	C19/24
C16/20	20	25,9	26,0	26,1	26,1	26,1	26,0	26,0	25,9	✓	✓	✓	✓	✓	C18/23	1 resultado	2 a 4 resultados	5 a 6 resultados	1 a 6 resultados	C20/25
C25/30	30	29,6	28,8	29,4	38,7	38,7	38,9	34,0	28,8	5,21	3	x	✓	✓	C21/26	1 resultado	2 a 4 resultados	5 a 6 resultados	1 a 6 resultados	C26/32
C20/25	25	23,3	22,4	22,1	22,1	22,1	22,6	22,6	22,1	x	✓	✓	✓	✓	C15/19	1 resultado	2 a 4 resultados	5 a 6 resultados	1 a 6 resultados	C16/21
C16/20	20	21,2	20,3	20,7	20,7	20,7	20,7	20,7	20,3	x	✓	✓	✓	✓	C13/17	1 resultado	2 a 4 resultados	5 a 6 resultados	1 a 6 resultados	C15/19
C25/30	30	38,7	40,8	39,9	38,4	38,4	36,7	38,8	36,7	1,41	3	✓	✓	✓	C29/36	1 resultado	2 a 4 resultados	5 a 6 resultados	1 a 6 resultados	C29/36
C16/20	20	24,4	23,5	23,8	23,8	23,8	23,9	23,9	23,5	✓	✓	✓	✓	✓	C16/20	1 resultado	2 a 4 resultados	5 a 6 resultados	1 a 6 resultados	C17/22
C20/25	25	27,8	28,3	28,5	28,5	28,5	28,2	28,2	27,8	✓	✓	✓	✓	✓	C20/25	1 resultado	2 a 4 resultados	5 a 6 resultados	1 a 6 resultados	C22/27
C16/20	20	32,0	30,8	33,4	33,4	33,4	32,1	32,1	30,8	✓	✓	✓	✓	✓	C24/29	1 resultado	2 a 4 resultados	5 a 6 resultados	1 a 6 resultados	C25/31
C25/30	30	20,7	20,7	20,8	36,9	37,6	35,9	28,8	20,7	8,82	3	x	x	x	C12/15	1 resultado	2 a 4 resultados	5 a 6 resultados	1 a 6 resultados	C19/24
C16/20	20	22,8	22,0	21,6	21,6	21,6	22,1	22,1	21,6	x	✓	✓	✓	✓	C15/19	1 resultado	2 a 4 resultados	5 a 6 resultados	1 a 6 resultados	C16/21
C25/30	30	29,0	28,7	26,2	31,1	32,7	31,9	29,9	26,2	2,42	3	x	x	x	C21/26	1 resultado	2 a 4 resultados	5 a 6 resultados	1 a 6 resultados	C22/27
C16/20	20	21,4	22,9	23,9	23,9	23,9	22,7	22,7	21,4	x	✓	✓	✓	✓	C15/19	1 resultado	2 a 4 resultados	5 a 6 resultados	1 a 6 resultados	C16/21
C16/20	20	21,1	24,1	24,0	24,0	24,0	23,1	23,1	21,1	✓	✓	✓	✓	✓	C16/20	1 resultado	2 a 4 resultados	5 a 6 resultados	1 a 6 resultados	C17/22
C20/25	25	22,6	22,9	22,8	22,8	22,8	22,8	22,8	22,6	x	✓	✓	✓	✓	C15/19	1 resultado	2 a 4 resultados	5 a 6 resultados	1 a 6 resultados	C16/21
C20/25	25	23,9	23,8	25,3	27,7	25,3	24,4	25,1	23,8	1,45	3	x	✓	✓	C17/22	1 resultado	2 a 4 resultados	5 a 6 resultados	1 a 6 resultados	C18/23
C20/25	25	31,1	31,3	32,3	32,0	28,5	30,6	31,0	28,5	1,36	3	✓	✓	✓	C24/29	1 resultado	2 a 4 resultados	5 a 6 resultados	1 a 6 resultados	C24/29
C20/25	25	29,1	24,9	27,0	27,0	27,0	27,0	27,0	24,9	x	✓	✓	✓	✓	C19/24	1 resultado	2 a 4 resultados	5 a 6 resultados	1 a 6 resultados	C21/26
C16/20	20	22,9	22,0	23,6	23,6	23,6	22,8	22,8	22,0	x	✓	✓	✓	✓	C15/19	1 resultado	2 a 4 resultados	5 a 6 resultados	1 a 6 resultados	C16/21
C16/20	20	35,6	36,3	37,3	37,3	37,3	36,4	36,4	35,6	✓	✓	✓	✓	✓	C27/33	1 resultado	2 a 4 resultados	5 a 6 resultados	1 a 6 resultados	C28/35
C16/20	20	13,7	13,2	14,1	13,2	14,1	13,7	13,7	13,2	x	x	✓	✓	✓	C8/10	1 resultado	2 a 4 resultados	5 a 6 resultados	1 a 6 resultados	C9/12
C25/30	30	31,4	32,6	34,8	33,9	30,8	32,4	32,7	30,8	1,50	3	✓	✓	✓	C25/30	1 resultado	2 a 4 resultados	5 a 6 resultados	1 a 6 resultados	C25/30
C20/25	25	31,6	32,0	32,6	31,0	31,3	31,6	31,7	31,0	0,56	3	✓	✓	✓	C25/30	1 resultado	2 a 4 resultados	5 a 6 resultados	1 a 6 resultados	C24/29
C25/30	30	33,3	30,9	32,3	23,1	21,5	22,5	27,3	21,5	5,45	3	x	x	x	C15/19	1 resultado	2 a 4 resultados	5 a 6 resultados	1 a 6 resultados	C20/25
C20/25	25	20,4	21,5	21,2	25,7	26,3	27,2	23,7	20,4	3,00	3	x	x	x	C15/19	1 resultado	2 a 4 resultados	5 a 6 resultados	1 a 6 resultados	C16/21
C20/25	25	29,0	29,2	28,9	29,1	28,9	29,7	29,1	28,9	0,30	3	✓	✓	✓	C23/28	1 resultado	2 a 4 resultados	5 a 6 resultados	1 a 6 resultados	C22/27
C20/25	25	25,9	21,1	21,8	15,3	19,2	18,4	20,3	15,3	3,58	3	x	x	x	C12/15	1 resultado	2 a 4 resultados	5 a 6 resultados	1 a 6 resultados	C14/18
C20/25	25	27,8	34,0	32,7	32,7	32,7	31,5	31,5	27,8	✓	✓	✓	✓	✓	C23/28	1 resultado	2 a 4 resultados	5 a 6 resultados	1 a 6 resultados	C25/30
C16/20	20	21,7	21,8	22,0	22,0	22,0	21,8	21,8	21,7	x	✓	✓	✓	✓	C14/18	1 resultado	2 a 4 resultados	5 a 6 resultados	1 a 6 resultados	C16/20
C25/30	30	30,5	27,1	29,5	30,5	31,5	31,3	30,1	27,1	1,62	3	x	✓	✓	C22/27	1 resultado	2 a 4 resultados	5 a 6 resultados	1 a 6 resultados	C23/28
C25/30	30	26,8	28,5	28,8	28,8	28,3	27,1	28,1	26,8	0,88	3	x	x	x	C21/26	1 resultado	2 a 4 resultados	5 a 6 resultados	1 a 6 resultados	C21/26
Obra 9																				
C20/25	25	25,7	27,4	27,5	26,9	25,7	26,9	26,9	25,7	x	✓	✓	✓	✓	C18/23	1 resultado	2 a 4 resultados	5 a 6 resultados	1 a 6 resultados	C20/25

Classe Pretendida	f _{ck} (MPa)	NP ENV 206										Qual a classe obtida segundo a NP ENV 206?	NP EN 206-1			Qual a classe obtida segundo a NP EN 206-1?			
		Média dos Resultados (f _{cm}) [Menor Média dos Resultados] (MPa)	Resultado (f _{cm}) (MPa)	3 a 5 resultados		≥ 6 resultados		1 resultado Critério 1 (1 resultado) Não aplicável	2 a 4 resultados Critério 1 (2-4 resultados) f _{cm} ≥ f _{ck} + 1	5 a 6 resultados Critério 1 (5-6 resultados) f _{cm} ≥ f _{ck} + 2	1 a 6 resultados Critério 2 f _d ≥ f _{ck} - 4								
s _n	k			Condição 1 f _{cm} ≥ f _{ck} + 3	Condição 2 f _{cm} ≥ f _{ck} + 1	Condição 1 f _{cm} ≥ f _{ck} + 1,48.s _n	Condição 2 f _{cm} ≥ f _{ck} - k												
Obra 16																			
C25/30	30	32,9	32,8	34,4	31,2	29,6	28,6	31,6	28,6	2,20	3	x	✓	x	✓	x	✓	C23/28	C24/29
C20/25	25	31,2	32,6	34,4	34,5			33,2	31,2			✓					✓	C25/30	C26/32
C25/30	30	28,1	27,0	31,2	28,5	26,0	27,2	28,0	26,0	1,80	3	x	x	x	✓	x	✓	C20/25	C21/26
Obra 17																			
C20/25	25	17,7	18,4	17,2	18,6	18,1	17,6	17,9	17,2	0,53	3	x	x	x	x	x	x	C13/17	C12/15
Obra 18																			
C20/25	25	25,4	25,7	18,6				23,2	18,6			x	x	x	x	x	x	C15/19	C17/22
Obra 19																			
C20/25	25	30,6	26,3	27,0				28,0	26,3			✓	✓	✓	✓	✓	✓	C20/25	C22/27
Obra 20																			
C20/25	25	17,4	19,6	19,3	16,8	17,5	13,5	17,4	13,5	2,19	3	x	x	x	x	x	x	C11/14	C12/15
C20/25	25	22,8	21,6	20,7				21,7	20,7			x	x	x	x	x	x	C14/18	C16/20
Obra 21																			
C20/25	25	33,7	31,4	26,0				30,4	26,0			✓	✓	✓	✓	✓	✓	C22/27	C24/29
Obra 22																			
C20/25	25	23,2	23,2	23,1	27,6	26,0	23,6	24,5	23,1	1,90	3	x	✓	x	✓	x	✓	C16/21	C17/22
Obra 23																			
C16/20	20	18,8	16,5	19,3				18,2	16,5			x	x	x	x	x	✓	C12/15	C13/17

Classe Pretendida	f _{ck} (MPa)	Resultados (f _{cd}) (MPa)			Média dos Resultados (f _{cm}) (MPa) [Menor Média dos Resultados] (f _{cm,mem}) (MPa)	Mínimo Resultado (f _{cmi}) (MPa)	NP ENV 206			Qual a classe obtida segundo a NP ENV 206?	NP EN 206-1				Qual a classe obtida segundo a NP EN 206-1?	
		f _{ck}	s _n	k			3 a 5 resultados	≥ 6 resultados	1 resultado		2 a 4 resultados	5 a 6 resultados	1 a 6 resultados			
							Condição 1 f _{cm} ≥ f _{ck} + 3	Condição 2 f _{cm,mi} ≥ f _{ck} - 1	Condição 1 f _{cm} ≥ f _{ck} + 1,48.s _n	Condição 2 f _{cm,mi} ≥ f _{ck} - k	1 resultado Critério 1 (1 resultado) Não aplicável	2 a 4 resultados Critério 1 (2-4 resultados) f _{cm} ≥ f _{ck} + 1	5 a 6 resultados Critério 1 (5-6 resultados) f _{cm} ≥ f _{ck} + 2	1 a 6 resultados Critério 2 f _d ≥ f _{ck} - 4		
Obra 1																
C16/20	20	32,4	32,3	31,0	31,9	31,0	✓	✓						✓	C23/28	C25/30
C16/20	20	13,1	14,3	14,3	13,9	13,1	x	x						x	C8/10	C9/12
C16/20	20	17,1	15,0	14,6	15,6	14,6	x	x						x	C9/12	C11/14
C16/20	20	15,5	15,3	15,5	15,4	15,3	x	x						x	C9/12	C11/14
C20/25	25	19,9	16,9	13,0	16,6	13,0	x	x						x	C10/13	C12/15
Obra 2																
C20/25	25	20,0	19,4	18,9	19,4	18,9	x	x						x	C12/16	C14/18
Obra 3																
C20/25	25	36,9	37,3	32,8	36,4	32,8	✓	✓	✓	✓				✓	C27/33	C27/34
C20/25	25	48,6	49,1	51,2	49,8	48,4	✓	✓	✓	✓				✓	C38/48	C37/47
C20/25	25	48,8	46,7	44,3	45,3	42,2	✓	✓	✓	✓				✓	C33/42	C33/43
C25/30	30	39,1	41,4	41,7	40,7	39,1	✓	✓	✓	✓				✓	C31/39	C30/38
C25/30	30	38,5	35,5	37,1	37,3	35,5	✓	✓	✓	✓				✓	C28/35	C28/35
C25/30	30	35,3	33,5	34,6	34,8	33,4	✓	✓	✓	✓				✓	C27/33	C26/32
C25/30	30	37,0	36,1	37,8	36,0	34,2	✓	✓	✓	✓				✓	C27/34	C27/34
C25/30	30	36,2	31,5	33,5	34,1	31,5	✓	✓	✓	✓				✓	C25/31	C26/32
C25/30	30	33,4	31,7	32,8	33,3	31,7	✓	✓	✓	✓				✓	C25/31	C25/31
Obra 4																
C20/25	25	37,0	36,0	36,8	36,6	36,0	✓	✓	✓	✓				✓	C27/33	C28/35
C20/25	25	29,0	26,9	28,5	28,1	26,9	✓	✓	✓	✓				✓	C20/25	C22/27
Obra 5																
C20/25	25	41,0	38,1	39,5	39,5	38,1	✓	✓	✓	✓				✓	C29/36	C30/38
Obra 6																
C20/25	25	27,7	27,8	26,7	29,6	26,7	✓	✓	✓	✓				✓	C21/26	C22/27
Obra 7																
C20/25	25	25,1	29,8	28,6	27,8	25,1	x	✓						✓	C19/24	C21/26
C20/25	25	22,8	22,5	21,8	22,4	21,8	x	x						✓	C15/19	C16/21
C20/25	25	25,1	22,1	22,2	28,1	22,1			x	✓				✓	C15/19	C21/26
Obra 8																
C20/25	25	18,6	18,0	18,1	18,2	18,0	x	x						x	C12/15	C13/17
C20/25	25	22,0	31,1	38,9	30,7	22,0	✓	x						✓	C18/23	C21/26
C20/25	25	24,5	24,4	24,8	24,6	24,4	x	✓						✓	C16/21	C18/23
C20/25	25	23,8	28,0	24,4	25,4	23,8	x	x						✓	C17/22	C19/24
C20/25	25	18,8	19,4	22,3	20,2	18,8	x	x						✓	C13/17	C15/19
C20/25	25	18,8	19,4	22,3	20,2	18,8	x	x						✓	C13/17	C15/19
C20/25	25	21,5	21,9	23,2	22,2	21,5	x	x						✓	C15/19	C16/21
C20/25	25	33,5	31,6	31,9	32,1	30,1	✓	✓	✓	✓				✓	C25/30	C25/30
C20/25	25	34,0	34,4	33,9	34,3	33,9	✓	✓	✓	✓				✓	C27/33	C26/32
C20/25	25	28,9	29,7	28,0	28,9	28,0	✓	✓						✓	C20/25	C22/27
C20/25	25	31,0	31,7	30,5	31,1	30,5	✓	✓						✓	C23/28	C25/30
C20/25	25	28,4	28,5	28,8	28,9	28,4	✓	✓	✓	✓				✓	C23/28	C21/26

Obra 8 (Continua)

Classe Pretendida	f _{ck} (MPa)	Resultados (f _c) (MPa)						Média dos Resultados (f _{cm}) [Menor Média dos Resultados] (MPa)	Mínimo Resultado (f _{cm, min}) (MPa)	NP ENV 206		Qual a classe obtida segundo a NP ENV 206?	NP EN 206-1				Qual a classe obtida segundo a NP EN 206-1?			
		s _n	k	3 a 5 resultados	≥ 6 resultados	1 resultado	2 a 4 resultados			5 a 6 resultados	1 a 6 resultados									
		Condição 1		Condição 2		Condição 1		Condição 2				1		2 a 4		5 a 6		1 a 6		
		f _{cm} ≥ f _{ck} + 3		f _{cm} ≥ f _{ck} + 1		f _{cm} ≥ f _{ck} + 1,48.s _n		f _{cm} ≥ f _{ck} - k				Não aplicável		f _{cm} ≥ f _{ck} + 1		f _{cm} ≥ f _{ck} + 2		f _d ≥ f _{ck} - 4		
Obra 8 (Continuação)																				
C20/25	25	29,9	31,2	30,1	30,4	31,0	30,7	30,6	29,9	0,51	3	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	C24/29	C23/28
C20/25	25	29,9	29,5	30,5	30,4	31,0	30,7	30,0	29,5			✓							C22/27	C24/29
C20/25	25	27,1	25,5	17,1	25,3	18,1	18,7	22,0	17,1	4,46	3	x	x	x	x	x	x	x	C12/15	C16/20
C20/25	25	31,6	32,8	32,9	31,1	32,2	33,9	32,4	31,1	1,00	3	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	C25/30	C25/30
C20/25	25	35,2	36,2	35,7	35,7	35,7	35,9	35,7	35,2			✓							C26/32	C27/34
C20/25	25	35,4	37,6	35,0	35,0	35,0	35,9	36,0	35,0			✓							C27/33	C28/35
C20/25	25	21,4	21,1	21,8	21,8	21,8	21,8	21,4	21,1			x	x	x	x	x	x	x	C14/18	C16/20
C20/25	25	27,4	27,4	28,3	28,3	28,3	28,3	27,7	27,4			x	✓						C19/24	C21/26
Obra 9																				
C20/25	25	24,9	23,2	23,5	16,8	14,8	16,8	20,0	14,8	4,34	3	x	x	x	x	x	x	x	C10/13	C14/18
C20/25	25	21,9	22,6	22,2	16,8	14,8	16,8	22,2	21,9			x							C15/19	C16/21
C20/25	25	13,8	13,2	13,4	13,4	13,4	13,4	13,5	13,2			x	x	x	x	x	x	x	C8/10	C9/12
C20/25	25	19,1	18,7	19,6	19,6	19,6	19,6	19,1	18,7			x	x	x	x	x	x	x	C12/16	C14/18
C20/25	25	17,1	17,7	17,4	17,4	17,4	17,4	17,4	17,1			x	x	x	x	x	x	x	C11/14	C12/16
Obra 10																				
C20/25	25	23,6	23,2	23,1	23,1	23,1	23,1	23,3	23,1			x							C16/20	C17/22
Obra 11																				
C20/25	25	29,3	36,8	28,6	28,6	28,6	28,6	31,6	28,6			✓							C23/28	C25/30
Obra 12																				
C20/25	25	23,6	23,6	23,1	23,1	23,1	23,1	23,4	23,1			x	x	x	x	x	x	x	C16/20	C17/22
C20/25	25	31,9	32,3	33,1	33,1	33,1	33,1	32,4	31,9			✓							C24/29	C25/31
Obra 13																				
C30/37	37	53,1	50,4	48,8	50,9	46,1	48,4	49,6	46,1	2,40	3	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	C36/46	C37/47
Obra 14																				
C25/30	30	30,6	29,4	30,8	34,1	33,8	33,6	32,1	29,4	2,02	3	x	✓	✓	✓	✓	✓	✓	C24/29	C25/30

- Obras -

Inquérito - *Preparação / Conservação de Provetes*

Nota: A identificação é facultativa

Empresa: _____

Inquérito respondido por: _____ Função: _____

Data: ____/____/____

1. Quanto tempo leva desde o fim da amassadura até ao início da moldagem dos provetes ?

Imediato Até 15 minutos Mais de 15 minutos

2. Na fase final da compactação do provete, o molde fica cheio e a superfície do provete fica lisa ?

Sempre Às vezes Nunca

3. Onde é que conserva os moldes :

Ao ar livre Outro

Outro: _____

4. Quanto tempo espera para desmoldar os provetes ?

1 dia Até 3 dias Mais de 3 dias

5. Depois de desmoldados, onde é que conserva os provetes ?

Ao ar livre Outro

Outro: _____

6. Quanto tempo, no mínimo, são assim conservados os provetes ?

1 dia Até 3 dias Mais de 3 dias

Muito Obrigado pela sua colaboração.

Inquérito - *Betão Pronto*

Nota: A identificação é facultativa

Empresa: _____

Inquérito respondido por: _____ Função: _____

Data: ____/____/____

1. Realiza ensaios de abaixamento ?

Sempre Às vezes Nunca

2. Realiza ensaios de resistência à compressão ?

Sempre Às vezes Nunca

3. Rejeita o betão se, pela sua experiência, este tiver má aparência ?

Sempre Às vezes Nunca

4. Rejeita o betão se este não passar no ensaio de abaixamento ?

Sempre Às vezes Nunca

5. Que solução adoptam, caso os ensaios de resistência à compressão do betão não verifiquem os critérios impostos, pela Norma NP EN 206-1 ?

- Se diferença ≤ 5 MPa : Arquivam Procedem à demolição

- Se diferença ≥ 5 MPa e ≤ 10 MPa : Arquivam Procedem à demolição

- Se diferença ≥ 10 MPa : Arquivam Procedem à demolição

6. Verifica sempre antes de betonar, se as juntas e as cofragens estão limpas e o ferro calçado ?

Sempre Às vezes Nunca

7. A compactação é realizada por vibração interna ?

Sempre Às vezes Nunca

8. Caso utilize vibrador, este é :

Mais comprido que a cofragem Da altura da cofragem Mais curto que a cofragem

9. Qual o tempo de vibração utilizado ?

O máximo de tempo possível Até a superfície ficar lisa O mínimo de tempo possível

Muito Obrigado pela sua colaboração.

Inquérito - *Betão Feito em Obra*

Nota: A identificação é facultativa

Empresa: _____

Inquérito respondido por: _____ Função: _____

Data: ____/____/____

1. Qual a classe de betão pretendida ?

C ____/____

2. Qual a quantidade (traço) de materiais utilizados (cimento, areia, brita e água) ?

Por cada 1 balde(s) de cimento, misturo _____ balde(s) de areia, _____ balde(s) de brita e _____ balde(s) de água.

3. Costuma parar a betoneira entre o seu carregamento e o seu esvaziamento total ?

Sempre Às vezes Nunca

4. A saída das amassaduras da betoneira é feita com esta em rotação ?

Sempre Às vezes Nunca

5. Realiza ensaios de abaixamento ?

Sempre Às vezes Nunca

6. Realiza ensaios de resistência à compressão ?

Sempre Às vezes Nunca

7. Rejeita o betão se, pela sua experiência, este tiver má aparência ?

Sempre Às vezes Nunca

8. Rejeita o betão se este não passar no ensaio de abaixamento ?

Sempre Às vezes Nunca

9. Que solução adoptam, caso os ensaios de resistência à compressão do betão não verifiquem os critérios impostos, pela Norma NP EN 206-1 ?

- Se diferença ≤ 5 MPa : Arquivam Procedem à demolição
- Se diferença ≥ 5 MPa e ≤ 10 MPa : Arquivam Procedem à demolição
- Se diferença ≥ 10 MPa : Arquivam Procedem à demolição

10. Verifica sempre antes de betonar, se as juntas e as cofragens estão limpas e o ferro calçado ?

Sempre Às vezes Nunca

11. A compactação é realizada por vibração interna ?

Sempre Às vezes Nunca

12. Caso utilize vibrador, este é :

Mais comprido que a cofragem Da altura da cofragem Mais curto que a cofragem

13. Qual o tempo de vibração utilizado ?

O máximo de tempo possível Até a superfície ficar lisa O mínimo de tempo possível

Muito Obrigado pela sua colaboração.

OBRA - 1

$$f_{ck} = 25 \text{ MPa} \quad f_{cm} = \sum f_{ci} / 10 = 18,75 \text{ MPa} \quad s_n = 0,71 \text{ MPa} \quad V = 4 \%$$

$$\text{Critério 1: } f_{cm,alvo} = f_{ck} + z s_n = 25 + 1,28 \times 0,71 = 25,91 \text{ MPa} \quad f_{cm,alvo} = f_{ck} / (1 - z V) = 25 / (1 - 1,28 \times 0,04) = 26,35 \text{ MPa}$$

$$\text{Critério 2: } f_{cm,alvo} = f_{ck} + z s_n / \sqrt{n} = 25 + 2,33 \times 0,71 / \sqrt{3} = 25,96 \text{ MPa} \quad f_{cm,alvo} = f_{ck} / (1 - (z V / \sqrt{n})) = 25 / (1 - (2,33 \times 0,04 / \sqrt{3})) = 26,42 \text{ MPa}$$

$$\text{Critério 3: } f_{cm,alvo} = (f_{ck} - 3,5) + z s_n = (25 - 3,5) + 2,33 \times 0,71 = 23,15 \text{ MPa} \quad f_{cm,alvo} = (f_{ck} - 3,5) / (1 - z V) = (25 - 3,5) / (1 - 2,33 \times 0,04) = 23,71 \text{ MPa}$$

N.º	Resultado do ensaio (f_{ci})	MA3, MPa	$f_{cm} \geq f_{cm,alvo}$	Classe segundo as ACI318 e ACI 214R-02
1	18,4	-	x	C13/17
2	18,6	-		
3	18,9	18,6		
4	18,0	18,5		
5	18,9	18,6		
6	19,2	18,7		
7	19,7	19,3		
8	17,4	18,8		
9	18,7	18,6		
10	19,7	18,6		

OBRA - 2

$$f_{ck} = 25 \text{ MPa} \quad f_{cm} = \sum f_{ci} / 10 = 28,64 \text{ MPa} \quad s_n = 1,10 \text{ MPa} \quad V = 4 \%$$

$$\text{Critério 1: } f_{cm,alvo} = f_{ck} + z s_n = 25 + 1,28 \times 1,10 = 26,41 \text{ MPa} \quad f_{cm,alvo} = f_{ck} / (1 - z V) = 25 / (1 - 1,28 \times 0,04) = 26,35 \text{ MPa}$$

$$\text{Critério 2: } f_{cm,alvo} = f_{ck} + z s_n / \sqrt{n} = 25 + 2,33 \times 1,10 / \sqrt{3} = 26,48 \text{ MPa} \quad f_{cm,alvo} = f_{ck} / (1 - (z V / \sqrt{n})) = 25 / (1 - (2,33 \times 0,04 / \sqrt{3})) = 26,42 \text{ MPa}$$

$$\text{Critério 3: } f_{cm,alvo} = (f_{ck} - 3,5) + z s_n = (25 - 3,5) + 2,33 \times 1,10 = 24,06 \text{ MPa} \quad f_{cm,alvo} = (f_{ck} - 3,5) / (1 - z V) = (25 - 3,5) / (1 - 2,33 \times 0,04) = 23,71 \text{ MPa}$$

N.º	Resultado do ensaio (f_{ci})	MA3, MPa	$f_{cm} \geq f_{cm,alvo}$	Classe segundo as ACI318 e ACI 214R-02
1	27,3	-	✓	C22/27
2	28,0	-		
3	30,5	28,6		
4	27,2	28,6		
5	27,9	28,5		
6	28,5	27,9		
7	29,3	28,6		
8	30,0	29,3		
9	29,2	29,5		
10	28,5	29,2		

OBRA - 3

$$f_{ck} = 25 \text{ MPa} \quad f_{cm} = \sum f_{ci} / 10 = 24,50 \text{ MPa} \quad s_n = 0,89 \text{ MPa} \quad V = 4 \%$$

$$\text{Critério 1: } f_{cm,alvo} = f_{ck} + z s_n = 25 + 1,28 \times 0,89 = 26,14 \text{ MPa} \quad f_{cm,alvo} = f_{ck} / (1 - z V) = 25 / (1 - 1,28 \times 0,04) = 26,35 \text{ MPa}$$

$$\text{Critério 2: } f_{cm,alvo} = f_{ck} + z s_n / \sqrt{n} = 25 + 2,33 \times 0,89 / \sqrt{3} = 26,20 \text{ MPa} \quad f_{cm,alvo} = f_{ck} / (1 - (z V / \sqrt{n})) = 25 / (1 - (2,33 \times 0,04 / \sqrt{3})) = 26,42 \text{ MPa}$$

$$\text{Critério 3: } f_{cm,alvo} = (f_{ck} - 3,5) + z s_n = (25 - 3,5) + 2,33 \times 0,89 = 23,57 \text{ MPa} \quad f_{cm,alvo} = (f_{ck} - 3,5) / (1 - z V) = (25 - 3,5) / (1 - 2,33 \times 0,04) = 23,71 \text{ MPa}$$

N.º	Resultado do ensaio (f_{ci})	MA3, MPa	$f_{cm} \geq f_{cm,alvo}$	Classe segundo as ACI318 e ACI 214R-02
1	24,6	-	x	C18/23
2	23,5	-		
3	24,9	24,3		
4	23,9	24,1		
5	25,3	24,7		
6	25,3	24,8		
7	24,4	25,0		
8	25,7	25,1		
9	22,8	24,3		
10	24,6	24,4		

OBRA - 4

$$f_{ck} = 30 \text{ MPa} \quad f_{cm} = \sum f_{ci} / 10 = 33,32 \text{ MPa} \quad s_n = 1,51 \text{ MPa} \quad V = 5 \%$$

$$\text{Critério 1: } f_{cm,alvo} = f_{ck} + z s_n = 30 + 1,28 \times 1,51 = 31,93 \text{ MPa} \quad f_{cm,alvo} = f_{ck} / (1 - z V) = 30 / (1 - 1,28 \times 0,05) = 32,05 \text{ MPa}$$

$$\text{Critério 2: } f_{cm,alvo} = f_{ck} + z s_n / \sqrt{n} = 30 + 2,33 \times 1,51 / \sqrt{3} = 32,03 \text{ MPa} \quad f_{cm,alvo} = f_{ck} / (1 - (z V / \sqrt{n})) = 30 / (1 - (2,33 \times 0,05 / \sqrt{3})) = 32,16 \text{ MPa}$$

$$\text{Critério 3: } f_{cm,alvo} = (f_{ck} - 3,5) + z s_n = (30 - 3,5) + 2,33 \times 1,51 = 30,02 \text{ MPa} \quad f_{cm,alvo} = (f_{ck} - 3,5) / (1 - z V) = (30 - 3,5) / (1 - 2,33 \times 0,05) = 29,99 \text{ MPa}$$

N.º	Resultado do ensaio (f_{ci})	MA3, MPa	$f_{cm} \geq f_{cm,alvo}$	Classe segundo as ACI318 e ACI 214R-02
1	34,5	-	✓	C25/31
2	34,4	-		
3	32,0	33,6		
4	34,9	33,8		
5	35,3	34,1		
6	34,3	34,8		
7	31,1	33,6		
8	31,7	32,4		
9	32,3	31,7		
10	32,7	32,2		

OBRA - 5

$$f_{ck} = 15 \text{ MPa} \quad f_{cm} = \sum f_{ci} / 10 = 20,88 \text{ MPa} \quad s_n = 1,13 \text{ MPa} \quad V = 5 \%$$

$$\text{Critério 1: } f_{cm,alvo} = f_{ck} + z s_n = 15 + 1,28 \times 1,13 = 16,44 \text{ MPa} \quad f_{cm,alvo} = f_{ck} / (1 - z V) = 15 / (1 - 1,28 \times 0,05) = 16,03 \text{ MPa}$$

$$\text{Critério 2: } f_{cm,alvo} = f_{ck} + z s_n / \sqrt{n} = 15 + 2,33 \times 1,13 / \sqrt{3} = 16,52 \text{ MPa} \quad f_{cm,alvo} = f_{ck} / (1 - (z V / \sqrt{n})) = 15 / (1 - (2,33 \times 0,05 / \sqrt{3})) = 16,08 \text{ MPa}$$

$$\text{Critério 3: } f_{cm,alvo} = (f_{ck} - 3,5) + z s_n = (15 - 3,5) + 2,33 \times 1,13 = 14,13 \text{ MPa} \quad f_{cm,alvo} = (f_{ck} - 3,5) / (1 - z V) = (15 - 3,5) / (1 - 2,33 \times 0,05) = 13,02 \text{ MPa}$$

N.º	Resultado do ensaio (f_{ci})	MA3, MPa	$f_{cm} \geq f_{cm,alvo}$	Classe segundo as ACI318 e ACI 214R-02
1	20,3	-	✓	C15/19
2	21,1	-		
3	22,5	21,3		
4	20,4	21,4		
5	21,3	21,4		
6	21,6	21,1		
7	19,6	20,8		
8	22,1	21,1		
9	18,8	20,2		
10	21,0	20,7		

OBRA - 6

$$f_{ck} = 15 \text{ MPa} \quad f_{cm} = \sum f_{ci} / 10 = 14,77 \text{ MPa} \quad s_n = 0,33 \text{ MPa} \quad V = 2 \%$$

$$\text{Critério 1: } f_{cm,alvo} = f_{ck} + z s_n = 15 + 1,28 \times 0,33 = 15,42 \text{ MPa} \quad f_{cm,alvo} = f_{ck} / (1 - z V) = 15 / (1 - 1,28 \times 0,02) = 15,39 \text{ MPa}$$

$$\text{Critério 2: } f_{cm,alvo} = f_{ck} + z s_n / \sqrt{n} = 15 + 2,33 \times 0,33 / \sqrt{3} = 15,44 \text{ MPa} \quad f_{cm,alvo} = f_{ck} / (1 - (z V / \sqrt{n})) = 15 / (1 - (2,33 \times 0,02 / \sqrt{3})) = 15,41 \text{ MPa}$$

$$\text{Critério 3: } f_{cm,alvo} = (f_{ck} - 3,5) + z s_n = (15 - 3,5) + 2,33 \times 0,33 = 12,27 \text{ MPa} \quad f_{cm,alvo} = (f_{ck} - 3,5) / (1 - z V) = (15 - 3,5) / (1 - 2,33 \times 0,02) = 12,06 \text{ MPa}$$

N.º	Resultado do ensaio (f_{ci})	MA3, MPa	$f_{cm} \geq f_{cm,alvo}$	Classe segundo as ACI318 e ACI 214R-02
1	14,4	-	x	C11/14
2	14,8	-		
3	14,9	14,7		
4	15,5	15,0		
5	15,1	15,1		
6	14,4	15,0		
7	14,9	14,8		
8	14,6	14,7		
9	14,5	14,7		
10	14,6	14,6		

OBRA - 7

$$f_{ck} = 25 \text{ MPa} \quad f_{cm} = \sum f_{ci} / 10 = 30,52 \text{ MPa} \quad s_n = 2,24 \text{ MPa} \quad V = 7 \%$$

$$\text{Critério 1: } f_{cm,alvo} = f_{ck} + z s_n = 25 + 1,28 \times 2,24 = 27,87 \text{ MPa} \quad f_{cm,alvo} = f_{ck} / (1 - z V) = 25 / (1 - 1,28 \times 0,07) = 27,46 \text{ MPa}$$

$$\text{Critério 2: } f_{cm,alvo} = f_{ck} + z s_n / \sqrt{n} = 25 + 2,33 \times 2,24 / \sqrt{3} = 28,01 \text{ MPa} \quad f_{cm,alvo} = f_{ck} / (1 - (z V / \sqrt{n})) = 25 / (1 - (2,33 \times 0,07 / \sqrt{3})) = 27,60 \text{ MPa}$$

$$\text{Critério 3: } f_{cm,alvo} = (f_{ck} - 3,5) + z s_n = (25 - 3,5) + 2,33 \times 2,24 = 26,72 \text{ MPa} \quad f_{cm,alvo} = (f_{ck} - 3,5) / (1 - z V) = (25 - 3,5) / (1 - 2,33 \times 0,07) = 25,69 \text{ MPa}$$

N.º	Resultado do ensaio (f_{ci})	MA3, MPa	$f_{cm} \geq f_{cm,alvo}$	Classe segundo as ACI318 e ACI 214R-02
1	28,1	-	✓	C22/27
2	33,2	-		
3	34,4	31,9		
4	30,4	32,7		
5	28,1	31,0		
6	29,9	29,5		
7	31,7	29,9		
8	32,0	31,2		
9	28,2	30,6		
10	29,3	29,8		

OBRA - 8

$$f_{ck} = 37 \text{ MPa} \quad f_{cm} = \sum f_{ci} / 10 = 40,32 \text{ MPa} \quad s_n = 2,70 \text{ MPa} \quad V = 7 \%$$

$$\text{Critério 1: } f_{cm,alvo} = f_{ck} + z s_n = 37 + 1,28 \times 2,70 = 40,46 \text{ MPa} \quad f_{cm,alvo} = f_{ck} / (1 - z V) = 37 / (1 - 1,28 \times 0,07) = 40,64 \text{ MPa}$$

$$\text{Critério 2: } f_{cm,alvo} = f_{ck} + z s_n / \sqrt{n} = 37 + 2,33 \times 2,70 / \sqrt{3} = 40,63 \text{ MPa} \quad f_{cm,alvo} = f_{ck} / (1 - (z V / \sqrt{n})) = 37 / (1 - (2,33 \times 0,07 / \sqrt{3})) = 40,85 \text{ MPa}$$

$$\text{Critério 3: } f_{cm,alvo} = (f_{ck} - 3,5) + z s_n = (37 - 3,5) + 2,33 \times 2,70 = 38,52 \text{ MPa} \quad f_{cm,alvo} = (f_{ck} - 3,5) / (1 - z V) = (37 - 3,5) / (1 - 2,33 \times 0,07) = 39,79 \text{ MPa}$$

N.º	Resultado do ensaio (f_{ci})	MA3, MPa	$f_{cm} \geq f_{cm,alvo}$	Classe segundo as ACI318 e ACI 214R-02
1	41,9	-	x	C29/36
2	38,9	-		
3	43,3	41,4		
4	42,4	41,6		
5	40,0	41,9		
6	42,7	41,7		
7	34,3	39,0		
8	38,0	38,3		
9	41,0	37,7		
10	40,7	39,9		

OBRA - 9

$$f_{ck} = 25 \text{ MPa} \quad f_{cm} = \sum f_{ci} / 10 = 33,18 \text{ MPa} \quad s_n = 1,41 \text{ MPa} \quad V = 4 \%$$

$$\text{Critério 1: } f_{cm,alvo} = f_{ck} + z s_n = 25 + 1,28 \times 1,41 = 26,80 \text{ MPa} \quad f_{cm,alvo} = f_{ck} / (1 - z V) = 25 / (1 - 1,28 \times 0,04) = 26,35 \text{ MPa}$$

$$\text{Critério 2: } f_{cm,alvo} = f_{ck} + z s_n / \sqrt{n} = 25 + 2,33 \times 1,41 / \sqrt{3} = 26,90 \text{ MPa} \quad f_{cm,alvo} = f_{ck} / (1 - (z V / \sqrt{n})) = 25 / (1 - (2,33 \times 0,04 / \sqrt{3})) = 26,42 \text{ MPa}$$

$$\text{Critério 3: } f_{cm,alvo} = (f_{ck} - 3,5) + z s_n = (25 - 3,5) + 2,33 \times 1,41 = 24,79 \text{ MPa} \quad f_{cm,alvo} = (f_{ck} - 3,5) / (1 - z V) = (25 - 3,5) / (1 - 2,33 \times 0,04) = 23,71 \text{ MPa}$$

N.º	Resultado do ensaio (f_{ci})	MA3, MPa	$f_{cm} \geq f_{cm,alvo}$	Classe segundo as ACI318 e ACI 214R-02
1	30,9	-	✓	C25/31
2	33,6	-		
3	33,2	32,6		
4	34,1	33,7		
5	31,2	32,9		
6	31,7	32,4		
7	34,9	32,6		
8	34,1	33,6		
9	34,2	34,4		
10	33,8	34,0		

OBRA - 10

$$f_{ck} = 20 \text{ MPa} \quad f_{cm} = \sum f_{ci} / 10 = 21,23 \text{ MPa} \quad s_n = 0,81 \text{ MPa} \quad V = 4 \%$$

$$\text{Critério 1: } f_{cm,alvo} = f_{ck} + z s_n = 20 + 1,28 \times 0,81 = 21,04 \text{ MPa} \quad f_{cm,alvo} = f_{ck} / (1 - z V) = 20 / (1 - 1,28 \times 0,04) = 21,08 \text{ MPa}$$

$$\text{Critério 2: } f_{cm,alvo} = f_{ck} + z s_n / \sqrt{n} = 20 + 2,33 \times 0,81 / \sqrt{3} = 21,09 \text{ MPa} \quad f_{cm,alvo} = f_{ck} / (1 - (z V / \sqrt{n})) = 20 / (1 - (2,33 \times 0,04 / \sqrt{3})) = 21,14 \text{ MPa}$$

$$\text{Critério 3: } f_{cm,alvo} = (f_{ck} - 3,5) + z s_n = (20 - 3,5) + 2,33 \times 0,81 = 18,39 \text{ MPa} \quad f_{cm,alvo} = (f_{ck} - 3,5) / (1 - z V) = (20 - 3,5) / (1 - 2,33 \times 0,04) = 18,20 \text{ MPa}$$

N.º	Resultado do ensaio (f_{ci})	MA3, MPa	$f_{cm} \geq f_{cm,alvo}$	Classe segundo as ACI318 e ACI 214R-02
1	20,9	-	✓	C16/20
2	20,2	-		
3	20,7	20,6		
4	20,8	20,6		
5	20,6	20,7		
6	21,6	21,0		
7	20,9	21,0		
8	21,7	21,4		
9	22,4	21,7		
10	22,6	22,2		

- Central de Produção -

Central de Produção
 - Ensaios de Resistência à Compressão -
 NP EN 206-1
 - Produção Inicial -
 - C16/20 C20/25 C25/30 -

Nº da amostra	Nº do provete	f _{ep}	Classe Pretendida	f _{ck}	f _{ci}	f _{ct}	f _{cm}	Sem sobreposição		Qual a classe obtida segundo a NP EN 206-1?	f _{cm}	Com sobreposição		Qual a classe obtida segundo a NP EN 206-1?
								Critério 1 (f _{cm} ≥ f _{ck} + 4)	Critério 2 (f _{ci} ≥ f _{ck} - 4)			Critério 1 (f _{cm} ≥ f _{ck} + 4)	Critério 2 (f _{ci} ≥ f _{ck} - 4)	
1	1	20,2												
	2	21,6												
	3	21,8	C16/20	20	21,2	26,2						✓		
2	4	23,7												
	5	23,2												
	6	23,1	C16/20	20	23,3	28,3						✓		
3	7	22,0												
	8	23,0												
	9	22,4	C16/20	20	22,5	27,5	27,3	x	✓	C14/18 / /	27,3	x	✓	C14/18 / /
4	10	19,9												
	11	19,3												
	12	19,9	C16/20	20	19,7	24,7						x	✓	C13/17 / /
5	13	22,9												
	14	22,3												
	15	22,7	C16/20	20	22,6	27,6						x	✓	C13/17 / /
6	16	23,3												
	17	23,6												
	18	23,3	C16/20	20	23,4	28,4	26,9	x	✓	C13/17 / /	26,9	x	✓	C13/17 / /
7	19	26,6												
	20	26,9												
	21	26,3	C20/25	25	26,6	26,6						x	✓	C14/18 C18/23 /
8	22	22,0												
	23	21,5												
	24	20,7	C16/20	20	21,4	26,4						x	✓	C14/18 C18/23 /
9	25	26,0												
	26	25,8												
	27	25,7	C20/25	25	25,8	25,8	26,3	x	✓	C13/17 C17/22 /	26,3	x	✓	C13/17 C17/22 /
10	28	22,2												
	29	22,4												
	30	22,8	C16/20	20	22,5	27,5						x	✓	C13/17 C17/22 /
11	31	23,1												
	32	22,3												
	33	22,2	C16/20	20	22,5	27,5						x	✓	C13/17 C17/22 /
12	34	26,4												
	35	24,5												
	36	27,3	C20/25	25	26,1	26,1	27,0	x	✓	C14/18 C18/23 /	27,0	x	✓	C14/18 C18/23 /

Central de Produção

- Ensaios de Resistência à Compressão -

NP EN 206-1

- Produção Inicial -

- C16/20 C20/25 C25/30 -

Nº da amostra	Nº do provete	f _{esp}	Classe Pretendida	f _{ck}	f _{ci}	f _{ctd}	f _{cm}	Sem sobreposição		Qual a classe obtida segundo a NP EN 206-1?	Com sobreposição		Qual a classe obtida segundo a NP EN 206-1?
								Critério 1 (f _{cm} ≥ f _{ck} + 4)	Critério 2 (f _{ci} ≥ f _{ck} - 4)		Critério 1 (f _{cm} ≥ f _{ck} + 4)	Critério 2 (f _{ci} ≥ f _{ck} - 4)	
13	37	20,3											C13/17
	38	20,1											C17/22
	39	19,6	C16/20	20	20,0	25,0	26,2				x		/
14	40	27,0											
	41	24,9											
	42	26,1	C20/25	25	26,0	26,0	25,7				x		C12/16 C16/21
15	43	24,8											
	44	25,8											
	45	25,5	C20/25	25	25,4	25,4	25,5		x				C12/16 C16/21
16	46	26,7											
	47	26,2											
	48	26,1	C20/25	25	26,3	26,3	25,9				x		/
17	49	21,7											
	50	21,2											
	51	20,8	C16/20	20	21,2	26,2	26,0				x		C13/17 C17/22
18	52	21,6											
	53	21,2											
	54	21,1	C16/20	20	21,3	26,3	26,3				x		C13/17 C17/22
19	55	20,2											
	56	21,8											
	57	21,6	C16/20	20	21,2	26,2	26,2				x		/
20	58	22,2											
	59	22,8											
	60	22,0	C16/20	20	22,3	27,3	26,6				x		C13/17 /
21	61	22,8											
	62	21,7											
	63	22,1	C16/20	20	22,2	27,2	26,9				x		C13/17 /
22	64	26,5											
	65	26,3											
	66	25,9	C20/25	25	26,2	26,2	26,9				x		C13/17 C17/22
23	67	21,9											
	68	22,0											
	69	21,3	C16/20	20	21,7	26,7	26,7				x		C13/17 C17/22
24	70	20,3											
	71	21,0											
	72	21,0	C16/20	20	20,8	25,8	26,2				x		C13/17 C17/22

Central de Produção
 - Ensaio de Resistência à Compressão -
 NP EN 206-1
 - Produção Inicial -
 - C16/20 C20/25 C25/30 -

Nº da amostra	Nº do provete	f _{esp}	Classe Pretendida	f _{ck}	f _{ci}	f _{ctd}	f _{cm}	Sem sobreposição		Qual a classe obtida segundo a NP EN 206-1?	Com sobreposição		Qual a classe obtida segundo a NP EN 206-1?
								Critério 1 (f _{cm} ≥ f _{ck} + 4)	Critério 2 (f _{ci} ≥ f _{ck} - 4)		Critério 1 (f _{cm} ≥ f _{ck} + 4)	Critério 2 (f _{ci} ≥ f _{ck} - 4)	
25	73	31,9											C13/17
	74	31,0											/
	75	31,2	C25/30	30	31,4	26,4	26,3	x	✓		x	✓	C22/27
26	76	26,0											C13/17
	77	26,3											C17/22
	78	26,4	C20/25	25	26,2	26,2	26,1	x	✓		x	✓	C22/27
27	79	30,0											/
	80	30,8											C17/22
	81	31,7	C25/30	30	30,8	25,8	26,1	x	✓		x	✓	C22/27
28	82	25,0											/
	83	25,0											C16/21
	84	25,1	C20/25	25	25,0	25,0	25,7	x	✓		x	✓	C21/26
29	85	26,9											/
	86	26,4											C16/21
	87	26,9	C20/25	25	26,7	26,7	25,9	x	✓		x	✓	C21/26
30	88	31,7											/
	89	31,2											C17/22
	90	31,9	C25/30	30	31,6	26,6	26,1	x	✓		x	✓	C22/27
31	91	22,9											/
	92	22,3											C13/17
	93	22,2	C16/20	20	22,5	27,5	26,9	x	✓		x	✓	C17/22
32	94	33,1											/
	95	32,5											C14/18
	96	32,5	C25/30	30	32,7	27,7	27,3	x	✓		x	✓	C23/28
33	97	32,9											/
	98	32,2											C14/18
	99	32,4	C25/30	30	32,5	27,5	27,6	x	✓		x	✓	C23/28
34	100	32,7											/
	101	30,3											/
	102	30,0	C25/30	30	31,0	26,0	27,1	x	✓		x	✓	C23/28
35	103	21,8											/
	104	19,9											C13/17
	105	19,8	C16/20	20	20,5	25,5	26,3	x	✓		x	✓	C22/27
36	106	32,2											/
	107	31,9											C13/17
	108	31,9	C25/30	30	32,0	27,0	26,2	x	✓		x	✓	C22/27

Central de Produção
 - Ensaios de Resistência à Compressão -
 NP EN 206-1
 - Produção Inicial -
 - C16/20 C20/25 C25/30 -

Nº da amostra	Nº do provete	f _{esp}	Classe Pretendida	f _{ck}	f _{ci}	f _{ctd}	f _{cm}	Sem sobreposição		Qual a classe obtida segundo a NP EN 206-1?	Com sobreposição		Qual a classe obtida segundo a NP EN 206-1?
								Critério 1 (f _{cm} ≥ f _{ck} + 4)	Critério 2 (f _{ci} ≥ f _{ck} - 4)		Critério 1 (f _{cm} ≥ f _{ck} + 4)	Critério 2 (f _{ci} ≥ f _{ck} - 4)	
37	109	28,1											C13/17
	110	28,0											C17/22
	111	28,6	C20/25	25	28,2	28,2	26,9				x		C22/27
38	112	27,2											/
	113	27,0											C18/23
	114	27,5	C20/25	25	27,2	27,2	27,5				x		C23/28
39	115	19,9											C13/17
	116	19,5											C17/22
	117	19,9	C16/20	20	19,8	24,8	26,7	x					/
40	118	21,5											C12/16
	119	18,9											C16/21
	120	19,6	C16/20	20	20,0	25,0	25,7				x		/
41	121	19,5											C12/16
	122	21,7											/
	123	21,4	C16/20	20	20,9	25,9	25,2				x		/
42	124	21,3											C12/16
	125	23,8											/
	126	20,7	C16/20	20	21,9	26,9	25,9	x					/
43	127	21,2											C13/17
	128	21,1											/
	129	22,6	C16/20	20	21,6	26,6	26,5				x		/
44	130	20,7											C13/17
	131	19,4											/
	132	22,3	C16/20	20	20,8	25,8	26,5				x		/
45	133	25,7											C13/17
	134	26,9											C17/22
	135	25,9	C20/25	25	26,2	26,2	26,2	x					/
46	136	21,8											C13/17
	137	22,0											C17/22
	138	21,3	C16/20	20	21,7	26,7	26,2				x		/
47	139	25,0											C13/17
	140	26,7											C17/22
	141	26,2	C20/25	25	26,0	26,0	26,3				x		/
48	142	26,5											C13/17
	143	26,6											C17/22
	144	26,5	C20/25	25	26,5	26,5	26,4	x					/

Central de Produção

- Ensaio de Resistência à Compressão -
 NP EN 206-1
 - Produção Contínua -
 - C16/20 C20/25 C25/30 -

Nº da amostra	Nº do provete	f _{cip}	Classe Pretendida	f _{ck}	f _{ci}	f _{cit}	f _{cm15}	Critério 1 (f _{cm15} ≥ f _{ck} + 1,48 σ)	Critério 2 (f _{ci} ≥ f _{ck} - 4)	Classe obtida, 15 resultados, na NP EN 206-1?	f _{cm}	Critério 1 (f _{cm} ≥ f _{ck} + 1,48 σ)	Qual a classe obtida segundo a NP EN 206-1?
1	1	20,2	C16/20	20	21,2	26,2			✓				
	2	21,6											
	3	21,8											
	4	23,7											
2	5	23,2	C16/20	20	23,3	28,3			✓				
	6	23,1											
	7	22,0											
	8	23,0											
3	9	22,4	C16/20	20	22,5	27,5			✓				
	10	19,9											
	11	19,3											
	12	19,9											
4	13	22,9	C16/20	20	19,7	24,7			✓				
	14	22,3											
	15	22,7											
	16	23,3											
5	17	23,6	C16/20	20	22,6	27,6			✓				
	18	23,3											
	19	26,6											
	20	26,9											
6	21	26,3	C20/25	25	26,6	26,6			✓				
	22	22,0											
	23	21,5											
	24	20,7											
7	25	26,0	C16/20	20	21,4	26,4			✓				
	26	25,8											
	27	25,7											
	28	22,2											
8	29	22,4	C20/25	25	25,8	25,8			✓				
	30	22,8											
	31	23,1											
	32	22,3											
9	33	22,2	C16/20	20	22,5	27,5			✓				
	10												
10			C16/20	20	22,5	27,5			✓				
	11												

Central de Produção

- Ensaaios de Resistência à Compressão -

NP EN 206-1

- Produção Contínua -

- C16/20 C20/25 C25/30 -

Nº da amostra	Nº do provete	f _{cip}	Classe Pretendida	f _{ck}	f _{ci}	f _{cit}	f _{cm15}	Critério 1 (f _{cm15} ≥ f _{ck} + 1,48 σ)	Critério 2 (f _{ci} ≥ f _{ck} - 4)	Classe obtida, 15 resultados, na NP EN 206-1?	f _{cm}	Critério 1 (f _{cm} ≥ f _{ck} + 1,48 σ)	Qual a classe obtida segundo a NP EN 206-1?
12	34	26,4	C20/25	25	26,1	26,1			✓				
	35	24,5											
	36	27,3											
13	37	20,3	C16/20	20	20,0	25,0			✓				
	38	20,1											
	39	19,6											
14	40	27,0	C20/25	25	26,0	26,0			✓				
	41	24,9											
	42	26,1											
15	43	24,8	C20/25	25	25,4	25,4	26,60	✓	✓				
	44	25,8											
	45	25,5											
16	46	26,7	C20/25	25	26,3	26,3			✓				
	47	26,2											
	48	26,1											
17	49	21,7	C16/20	20	21,2	26,2			✓				
	50	21,2											
	51	20,8											
18	52	21,6	C16/20	20	21,3	26,3			✓				
	53	21,2											
	54	21,1											
19	55	20,2	C16/20	20	21,2	26,2			✓				
	56	21,8											
	57	21,6											
20	58	22,2	C16/20	20	22,3	27,3			✓				
	59	22,8											
	60	22,0											
21	61	22,8	C16/20	20	22,2	27,2			✓				
	62	21,7											
	63	22,1											
22	64	26,5	C20/25	25	26,2	26,2			✓				
	65	26,3											
	66	25,9											

Central de Produção

- Ensaio de Resistência à Compressão -

NP EN 206-1

- Produção Contínua -

- C16/20 C20/25 C25/30 -

Nº da amostra	Nº do provete	f _{cip}	Classe Pretendida	f _{ck}	f _{ci}	f _{cit}	f _{cm15}	Critério 1 (f _{cm15} ≥ f _{ck} + 1,48 σ)	Critério 2 (f _{ci} ≥ f _{ck} - 4)	Classe obtida, 15 resultados, na NP EN 206-1?	f _{cm}	Critério 1 (f _{cm} ≥ f _{ck} + 1,48 σ)	Qual a classe obtida segundo a NP EN 206-1?
23	67	21,9											
	68	22,0							✓				
	69	21,3	C16/20	20	21,7	26,7							
24	70	20,3											
	71	21,0							✓				
	72	21,0	C16/20	20	20,8	25,8							
25	73	31,9											
	74	31,0							✓				
	75	31,2	C25/30	30	31,4	26,4							
26	76	26,0											
	77	26,3							✓				
	78	26,4	C20/25	25	26,2	26,2							
27	79	30,0											
	80	30,8							✓				
	81	31,7	C25/30	30	30,8	25,8							
28	82	25,0											
	83	25,0							✓				
	84	25,1	C20/25	25	25,0	25,0							
29	85	26,9											
	86	26,4							✓				
	87	26,9	C20/25	25	26,7	26,7							
30	88	31,7											
	89	31,2							✓				
	90	31,9	C25/30	30	31,6	26,6	26,34						
31	91	22,9											
	92	22,3							✓				
	93	22,2	C16/20	20	22,5	27,5							
32	94	33,1											
	95	32,5							✓				
	96	32,5	C25/30	30	32,7	27,7							
33	97	32,9											
	98	32,2							✓				
	99	32,4	C25/30	30	32,5	27,5							

Central de Produção

- Ensaaios de Resistência à Compressão -
 NP EN 206-1
 - Produção Contínua -
 - C16/20 C20/25 C25/30 -

Nº da amostra	Nº do provete	f _{cip}	Classe Pretendida	f _{ck}	f _{ci}	f _{cit}	f _{cm15}	Critério 1 (f _{cm15} ≥ f _{ck} + 1,48 σ)	Critério 2 (f _{ci} ≥ f _{ck} - 4)	Classe obtida, 15 resultados, na NP EN 206-1?	f _{cm}	Critério 1 (f _{cm} ≥ f _{ck} + 1,48 σ)	Qual a classe obtida segundo a NP EN 206-1?
34	100	32,7											
	101	30,3							✓				
	102	30,0	C25/30	30	31,0	26,0							
35	103	21,8											
	104	19,9											
	105	19,8	C16/20	20	20,5	25,5			✓				
36	106	32,2											
	107	31,9											
	108	31,9	C25/30	30	32,0	27,0			✓				
37	109	28,1											
	110	28,0											
	111	28,6	C20/25	25	28,2	28,2			✓				
38	112	27,2											
	113	27,0											
	114	27,5	C20/25	25	27,2	27,2			✓				
39	115	19,9											
	116	19,5											
	117	19,9	C16/20	20	19,8	24,8			✓				
40	118	21,5											
	119	18,9											
	120	19,6	C16/20	20	20,0	25,0			✓				
41	121	19,5											
	122	21,7											
	123	21,4	C16/20	20	20,9	25,9			✓				
42	124	21,3											
	125	23,8											
	126	20,7	C16/20	20	21,9	26,9			✓				
43	127	21,2											
	128	21,1											
	129	22,6	C16/20	20	21,6	26,6			✓				
44	130	20,7											
	131	19,4											
	132	22,3	C16/20	20	20,8	25,8			✓				

Central de Produção

- Ensaio de Resistência à Compressão -

NP EN 206-1

- Produção Contínua -

- C16/20 C20/25 C25/30 -

Nº da amostra	Nº do provete	f_{cip}	Classe Pretendida	f_{ck}	f_{ci}	f_{cit}	f_{cm15}	Critério 1 ($f_{cm15} \geq f_{ck} + 1,48 \sigma$)	Critério 2 ($f_{ci} \geq f_{ck} - 4$)	Classe obtida, 15 resultados, na NP EN 206-1?	f_{cm}	Critério 1 ($f_{cm} \geq f_{ck} + 1,48 \sigma$)	Qual a classe obtida segundo a NP EN 206-1?
45	133	25,7											
	134	26,9											
	135	25,9	C20/25	25	26,2	26,2	26,52	✓	✓	C16/20 C20/25 C25/30			
46	136	21,8											
	137	22,0											
	138	21,3	C16/20	20	21,7	26,7			✓				
47	139	25,0											
	140	26,7											
	141	26,2	C20/25	25	26,0	26,0			✓				
48	142	26,5											
	143	26,6											
	144	26,5	C20/25	25	26,5	26,5	26,40	✓	✓	C16/20 C20/25 /	26,48	✓	C16/20 C20/25 C25/30

Central de Produção

- Ensaaios de Resistência à Compressão -

NP EN 206-1

- Produção Contínua -

- C16/20 C20/25 -

Nº da amostra	Nº do provete	f _{ci}	Classe Pretendida	f _{ck}	f _{cd}	f _{ctd}	f _{cm15}	Critério 1 (f _{cm15} ≥ f _{ck} + 1,48 σ)	Critério 2 (f _{ci} ≥ f _{ck} - 4)	Classe obtida, 15 resultados, na NP EN 206-1?	f _{cm}	Critério 1 (f _{cm} ≥ f _{ck} + 1,48 σ)	Qual a classe obtida segundo a NP EN 206-1?
1	1	20,2											
	2	21,6							✓				
	3	21,8	C16/20	20	21,2	26,2							
2	4	23,7											
	5	23,2							✓				
	6	23,1	C16/20	20	23,3	28,3							
3	7	22,0											
	8	23,0							✓				
	9	22,4	C16/20	20	22,5	27,5							
4	10	19,9											
	11	19,3							✓				
	12	19,9	C16/20	20	19,7	24,7							
5	13	22,9											
	14	22,3							✓				
	15	22,7	C16/20	20	22,6	27,6							
6	16	23,3											
	17	23,6							✓				
	18	23,3	C16/20	20	23,4	28,4							
7	19	26,6											
	20	26,9							✓				
	21	26,3	C20/25	25	26,6	26,6							
8	22	22,0											
	23	21,5							✓				
	24	20,7	C16/20	20	21,4	26,4							
9	25	26,0											
	26	25,8							✓				
	27	25,7	C20/25	25	25,8	25,8							
10	28	22,2											
	29	22,4							✓				
	30	22,8	C16/20	20	22,5	27,5							
11	31	23,1											
	32	22,3							✓				
	33	22,2	C16/20	20	22,5	27,5							

Central de Produção

- Ensaio de Resistência à Compressão -

NP EN 206-1

- Produção Contínua -

- C16/20 C20/25 -

Nº da amostra	Nº do provete	f_{cip}	Classe Pretendida	f_{ck}	f_{cd}	f_{cit}	f_{cm15}	Critério 1 ($f_{cm15} \geq f_{ck} + 1,48 \sigma$)	Critério 2 ($f_{ci} \geq f_{ck} - 4$)	Classe obtida, 15 resultados, na NP EN 206-1?	f_{cm}	Critério 1 ($f_{cm} \geq f_{ck} + 1,48 \sigma$)	Qual a classe obtida segundo a NP EN 206-1?
12	34	26,4											
	35	24,5											
	36	27,3	C20/25	25	26,1	26,1			✓				
13	37	20,3											
	38	20,1											
	39	19,6	C16/20	20	20,0	25,0			✓				
14	40	27,0											
	41	24,9											
	42	26,1	C20/25	25	26,0	26,0			✓				
15	43	24,8											
	44	25,8											
	45	25,5	C20/25	25	25,4	25,4	26,60	✓	✓	C16/20 C20/25			
16	46	26,7											
	47	26,2											
	48	26,1	C20/25	25	26,3	26,3			✓				
17	49	21,7											
	50	21,2											
	51	20,8	C16/20	20	21,2	26,2			✓				
18	52	21,6											
	53	21,2											
	54	21,1	C16/20	20	21,3	26,3			✓				
19	55	20,2											
	56	21,8											
	57	21,6	C16/20	20	21,2	26,2			✓				
20	58	22,2											
	59	22,8											
	60	22,0	C16/20	20	22,3	27,3			✓				
21	61	22,8											
	62	21,7											
	63	22,1	C16/20	20	22,2	27,2			✓				
22	64	26,5											
	65	26,3											
	66	25,9	C20/25	25	26,2	26,2			✓				

Central de Produção

- Ensaio de Resistência à Compressão -
NP EN 206-1

- Produção Contínua -
- C16/20 C20/25 -

Nº da amostra	Nº do provete	f _{cip}	Classe Pretendida	f _{ck}	f _{cd}	f _{cit}	f _{cm15}	Critério 1 (f _{cm15} ≥ f _{ck} + 1,48 σ)	Critério 2 (f _{ci} ≥ f _{ck} - 4)	Classe obtida, 15 resultados, na NP EN 206-1?	f _{cm}	Critério 1 (f _{cm} ≥ f _{ck} + 1,48 σ)	Qual a classe obtida segundo a NP EN 206-1?
23	67	21,9											
	68	22,0											
	69	21,3	C16/20	20	21,7	26,7			✓				
24	70	20,3											
	71	21,0											
	72	21,0	C16/20	20	20,8	25,8			✓				
26	76	26,0											
	77	26,3											
	78	26,4	C20/25	25	26,2	26,2			✓				
28	82	25,0											
	83	25,0											
	84	25,1	C20/25	25	25,0	25,0			✓				
29	85	26,9											
	86	26,4											
	87	26,9	C20/25	25	26,7	26,7			✓				
31	91	22,9											
	92	22,3											
	93	22,2	C16/20	20	22,5	27,5			✓				
35	103	21,8											
	104	19,9											
	105	19,8	C16/20	20	20,5	25,5			✓				
37	109	28,1											
	110	28,0											
	111	28,6	C20/25	25	28,2	28,2	26,50	✓	✓	C16/20 C20/25			
38	112	27,2											
	113	27,0											
	114	27,5	C20/25	25	27,2	27,2			✓				
39	115	19,9											
	116	19,5											
	117	19,9	C16/20	20	19,8	24,8			✓				
40	118	21,5											
	119	18,9											
	120	19,6	C16/20	20	20,0	25,0			✓				

Central de Produção

- Ensaios de Resistência à Compressão -

NP EN 206-1

- Produção Contínua -

- C16/20 C20/25 -

Nº da amostra	Nº do provete	f_{cip}	Classe Pretendida	f_{ck}	f_{cd}	f_{cit}	f_{cm15}	Critério 1 ($f_{cm15} \geq f_{ck} + 1,48 \sigma$)	Critério 2 ($f_{ci} \geq f_{ck} - 4$)	Classe obtida, 15 resultados, na NP EN 206-1?	f_{cm}	Critério 1 ($f_{cm} \geq f_{ck} + 1,48 \sigma$)	Qual a classe obtida segundo a NP EN 206-1?
41	121	19,5											
	122	21,7											
	123	21,4	C16/20	20	20,9	25,9			✓				
42	124	21,3											
	125	23,8											
	126	20,7	C16/20	20	21,9	26,9			✓				
43	127	21,2											
	128	21,1											
	129	22,6	C16/20	20	21,6	26,6			✓				
44	130	20,7											
	131	19,4											
	132	22,3	C16/20	20	20,8	25,8			✓				
45	133	25,7											
	134	26,9											
	135	25,9	C20/25	25	26,2	26,2			✓				
46	136	21,8											
	137	22,0											
	138	21,3	C16/20	20	21,7	26,7			✓				
47	139	25,0											
	140	26,7											
	141	26,2	C20/25	25	26,0	26,0			✓				
48	142	26,5											
	143	26,6											
	144	26,5	C20/25	25	26,5	26,5	26,15	X	✓	C15/19 C19/24	26,44	✓	C16/20 C20/25

Central de Produção

- Ensaio de Resistência à Compressão -

NP EN 206-1

- Produção Contínua -

- C25/30 -

Nº da amostra	Nº do provele	f_{cip}	Classe Pretendida	f_{ek}	f_{ci}	f_{oit}	f_{cm}	Critério 1 ($f_{cm} \geq f_{ek} + 1,48 \sigma$)	Critério 2 ($f_{ci} \geq f_{ek} - 4$)	Qual a classe obtida segundo a NP EN 206-1?
25	73	31,9	C25/30	30	31,4	31,4			✓	
	74	31,0								
	75	31,2								
27	79	30,0	C25/30	30	30,8	30,8			✓	
	80	30,8								
	81	31,7								
30	88	31,7	C25/30	30	31,6	31,6			✓	
	89	31,2								
	90	31,9								
32	94	33,1	C25/30	30	32,7	32,7			✓	
	95	32,5								
	96	32,5								
33	97	32,9	C25/30	30	32,5	32,5			✓	
	98	32,2								
	99	32,4								
34	100	32,7	C25/30	30	31,0	31,0			✓	
	101	30,3								
	102	30,0								
36	106	32,2	C25/30	30	32,0	32,0	31,71	✓	✓	C25/30
	107	31,9								
	108	31,9								

Central de Produção

- Ensaaios de Resistência à Compressão -
 NP EN 206-1
 - Produção Contínua -
 - C16/20 -

Nº da amostra	Nº do provete	$f_{ci,p}$	Classe Pretendida	f_{ck}	f_{ci}	$f_{c,lt}$	$f_{cm,15}$	Critério 1 ($f_{cm,15} \geq f_{ck} + 1,48 \sigma$)	Critério 2 ($f_{ci} \geq f_{ck} - 4$)	Qual a classe obtida segundo a NP EN 206-1?	f_{cm}	Critério 1 ($f_{cm} \geq f_{ck} + 1,48 \sigma$)	Qual a classe obtida segundo a NP EN 206-1?
1	1	20,2	C16/20	20	21,2	21,2			✓				
	2	21,6											
	3	21,8											
	4	23,7											
2	5	23,2	C16/20	20	23,3	23,3			✓				
	6	23,1											
	7	22,0											
	8	23,0											
3	9	22,4	C16/20	20	22,5	22,5			✓				
	10	19,9											
	11	19,3											
	12	19,9											
4	13	22,9	C16/20	20	19,7	19,7			✓				
	14	22,3											
	15	22,7											
	16	23,3											
5	17	23,6	C16/20	20	22,6	22,6			✓				
	18	23,3											
	22	22,0											
	23	21,5											
6	24	20,7	C16/20	20	23,4	23,4			✓				
	28	22,2											
	29	22,4											
	30	22,8											
8	31	23,1	C16/20	20	21,4	21,4			✓				
	32	22,3											
	33	22,2											
	37	20,3											
10	38	20,1	C16/20	20	22,5	22,5			✓				
	39	19,6											
	49	21,7											
	50	21,2											
11	51	20,8	C16/20	20	21,2	21,2			✓				

Central de Produção

- Ensaaios de Resistência à Compressão -
 NP EN 206-1
 - Produção Contínua -
 - C16/20 -

Nº da amostra	Nº do provete	f_{cip}	Classe Pretendida	f_{ck}	f_{ci}	f_{cfit}	f_{cm15}	Critério 1 ($f_{cm15} \geq f_{ck} + 1,48 \sigma$)	Critério 2 ($f_{ci} \geq f_{ck} - 4$)	Qual a classe obtida segundo a NP EN 206-1?	f_{cm}	Critério 1 ($f_{cm} \geq f_{ck} + 1,48 \sigma$)	Qual a classe obtida segundo a NP EN 206-1?
18	52	21,6											
	53	21,2							✓				
	54	21,1	C16/20	20	21,3	21,3							
19	55	20,2											
	56	21,8							✓				
	57	21,6	C16/20	20	21,2	21,2							
20	58	22,2											
	59	22,8							✓				
	60	22,0	C16/20	20	22,3	22,3							
21	61	22,8											
	62	21,7											
	63	22,1	C16/20	20	22,2	22,2	21,52	✓					
23	67	21,9											
	68	22,0											
	69	21,3	C16/20	20	21,7	21,7			✓				
24	70	20,3											
	71	21,0											
	72	21,0	C16/20	20	20,8	20,8			✓				
31	91	22,9											
	92	22,3											
	93	22,2	C16/20	20	22,5	22,5			✓				
35	103	21,8											
	104	19,9											
	105	19,8	C16/20	20	20,5	20,5			✓				
39	115	19,9											
	116	19,5											
	117	19,9	C16/20	20	19,8	19,8			✓				
40	118	21,5											
	119	18,9											
	120	19,6	C16/20	20	20,0	20,0			✓				
41	121	19,5											
	122	21,7											
	123	21,4	C16/20	20	20,9	20,9			✓				

Central de Produção

- Ensaio de Resistência à Compressão -
 NP EN 206-1
 - Produção Contínua -
 - C16/20 -

Nº da amostra	Nº do provete	f_{cp}	Classe Pretendida	f_{ck}	f_{ci}	f_{cft}	f_{cm15}	Critério 1 ($f_{cm15} \geq f_{ck} + 1,48 \sigma$)	Critério 2 ($f_{ci} \geq f_{ck} - 4$)	Qual a classe obtida segundo a NP EN 206-1?	f_{cm}	Critério 1 ($f_{cm} \geq f_{ck} + 1,48 \sigma$)	Qual a classe obtida segundo a NP EN 206-1?
42	124	21,3	C16/20	20	21,9	21,9			✓				
	125	23,8											
	126	20,7											
43	127	21,2	C16/20	20	21,6	21,6			✓				
	128	21,1											
	129	22,6											
44	130	20,7	C16/20	20	20,8	20,8			✓				
	131	19,4											
	132	22,3											
46	136	21,8	C16/20	20	21,7	21,7	21,11	x	✓		21,52	✓	C16/20
	137	22,0											
	138	21,3											

Central de Produção

- Ensaio de Resistência à Compressão -

NP EN 206-1

- Produção Contínua -

- C20/25 -

Nº da amostra	Nº do provete	f_{cip}	Classe Pretendida	f_{ck}	f_{ci}	f_{cit}	f_{cm}	Critério 1 ($f_{cm} \geq f_{ck} + 1,48 \sigma$)	Critério 2 ($f_{ci} \geq f_{ck} - 4$)	Qual a classe obtida segundo a NP EN 206-1?
7	19	26,6	C20/25	25	26,6	26,6			✓	
	20	26,9								
	21	26,3								
9	25	26,0	C20/25	25	25,8	25,8			✓	
	26	25,8								
	27	25,7								
12	34	26,4	C20/25	25	26,1	26,1			✓	
	35	24,5								
	36	27,3								
14	40	27,0	C20/25	25	26,0	26,0			✓	
	41	24,9								
	42	26,1								
15	43	24,8	C20/25	25	25,4	25,4			✓	
	44	25,8								
	45	25,5								
16	46	26,7	C20/25	25	26,3	26,3			✓	
	47	26,2								
	48	26,1								
22	64	26,5	C20/25	25	26,2	26,2			✓	
	65	26,3								
	66	25,9								
26	76	26,0	C20/25	25	26,2	26,2			✓	
	77	26,3								
	78	26,4								
28	82	25,0	C20/25	25	25,0	25,0			✓	
	83	25,0								
	84	25,1								
29	85	26,9	C20/25	25	26,7	26,7			✓	
	86	26,4								
	87	26,9								
37	109	28,1	C20/25	25	28,2	28,2			✓	
	110	28,0								
	111	28,6								

Central de Produção

- Ensaio de Resistência à Compressão -

NP EN 206-1

- Produção Contínua -

- C20/25 -

Nº da amostra	Nº do provete	f_{cip}	Classe Pretendida	f_{ck}	f_{ci}	f_{cit}	f_{cm}	Critério 1 ($f_{cm} \geq f_{ck} + 1,48 \sigma$)	Critério 2 ($f_{ci} \geq f_{ck} - 4$)	Qual a classe obtida segundo a NP EN 206-1?
38	112	27,2	C20/25	25	27,2	27,2			✓	
	113	27,0								
	114	27,5								
45	133	25,7	C20/25	25	26,2	26,2			✓	
	134	26,9								
	135	25,9								
47	139	25,0	C20/25	25	26,0	26,0			✓	
	140	26,7								
	141	26,2								
48	142	26,5	C20/25	25	26,5	26,5	26,30	✓	✓	C20/25
	143	26,6								
	144	26,5								

Central de Produção

- Ensaio de Resistência à Compressão -

NP EN 206-1

- Produção Contínua -

- C25/30 -

Nº da amostra	Nº do provele	f_{cip}	Classe Pretendida	f_{ek}	f_{ci}	f_{oit}	f_{cm}	Critério 1 ($f_{cm} \geq f_{ek} + 1,48 \sigma$)	Critério 2 ($f_{ci} \geq f_{ek} - 4$)	Qual a classe obtida segundo a NP EN 206-1?
25	73	31,9	C25/30	30	31,4	31,4			✓	
	74	31,0								
	75	31,2								
27	79	30,0	C25/30	30	30,8	30,8			✓	
	80	30,8								
	81	31,7								
30	88	31,7	C25/30	30	31,6	31,6			✓	
	89	31,2								
	90	31,9								
32	94	33,1	C25/30	30	32,7	32,7			✓	
	95	32,5								
	96	32,5								
33	97	32,9	C25/30	30	32,5	32,5			✓	
	98	32,2								
	99	32,4								
34	100	32,7	C25/30	30	31,0	31,0			✓	
	101	30,3								
	102	30,0								
36	106	32,2	C25/30	30	32,0	32,0	31,71	✓	✓	C25/30
	107	31,9								
	108	31,9								

Central de Produção
- Ensaios de Resistência à Compressão -
NP ENV 206
- C16/20 -

Nº da amostra	Nº do provete	f_{cp}	Classe Pretendida	f_{ck}	f_d	f_{cm}	f_{cm}	f_{cm}	λ	s_n	k	Condição 1 ($f_{cm} \geq f_{ck} + \lambda s_n$)	Condição 2 ($f_{cm} \geq f_{ck} - k$)	Classe obtida, 3 amostras, na NP ENV 206?	f_{cm}	f_{cm}	λ	s_n	k	Condição 1 ($f_{cm} \geq f_{ck} + \lambda s_n$)	Condição 2 ($f_{cm} \geq f_{ck} - k$)	Classe obtida, 6 amostras, na NP ENV 206?	f_{cm}	f_{cm}	λ	s_n	k	Condição 1 ($f_{cm} \geq f_{ck} + \lambda s_n$)	Condição 2 ($f_{cm} \geq f_{ck} - k$)	Classe obtida, no global, na NP ENV 206?					
1	1	20,2	C16/20	20	21,2																														
	2	21,6																																	
	3	21,8																																	
2	4	23,7	C16/20	20	23,3																														
	5	23,2																																	
	6	23,1																																	
3	7	22,0	C16/20	20	22,5									C15/19	22,3																				
	8	23,0																																	
	9	22,4																																	
4	10	19,9	C16/20	20	19,7										21,2																				
	11	19,3																																	
	12	19,9																																	
5	13	22,9	C16/20	20	22,6																														
	14	22,3																																	
	15	22,7																																	
6	16	23,3	C16/20	20	23,4									C14/18	21,9																				
	17	23,6																																	
	18	23,3																																	
8	22	22,0	C16/20	20	21,4									C15/19	21,9																				
	23	21,5																																	
	24	20,7																																	
10	28	22,2	C16/20	20	21,4																														
	29	22,4																																	
	30	22,8																																	
11	31	23,1	C16/20	20	22,5									C15/19	22,1																				
	32	22,3																																	
	33	22,2																																	
13	37	20,3	C16/20	20	22,5									C15/19	22,1																				
	38	20,1																																	
	39	19,6																																	
17	49	21,7	C16/20	20	20,0																														
	50	21,2																																	
	51	20,8																																	
18	52	21,6	C16/20	20	21,2																														
	53	21,2																																	
	54	21,1																																	
19	55	20,2	C16/20	20	21,3									C13/17	20,8																				
	56	21,8																																	
	57	21,6																																	
20	58	22,2	C16/20	20	22,3																														
	59	22,8																																	
	60	22,0																																	
21	61	22,8	C16/20	20	22,2									C14/18	21,9																				
	62	21,7																																	
	63	22,1																																	
23	67	21,9	C16/20	20	22,2										21,2																				
	68	22,0																																	
	69	21,3																																	
24	70	20,3	C16/20	20	21,7																														
	71	21,0																																	
	72	21,0																																	
31	91	22,9	C16/20	20	20,8									C14/18	21,7																				
	92	22,3																																	
	93	22,2																																	

Central de Produção

- Ensaios de Resistência à Compressão -

NP ENV 206

- C16/20 -

Nº da amostra	Nº do proveite	f_{cp}	Classe Pretendida	f_{ck}	f_g	f_{min}	f_{cm}	Condição 1 ($f_{cm} \geq f_{ck} + 3$)	Condição 2 ($f_{min} \geq f_{ck} - 1$)	Classe obtida, 3 amostras, na NP ENV 206?	f_{cm}	λ	s_n	k	Condição 1 ($f_{cm} \geq f_{ck} + \lambda s_n$)	Condição 2 ($f_{min} \geq f_{ck} - k$)	Classe obtida, 6 amostras, na NP ENV 206?	f_{cm}	λ	s_n	k	Condição 1 ($f_{cm} \geq f_{ck} + \lambda s_n$)	Condição 2 ($f_{min} \geq f_{ck} - k$)	Classe obtida, no global, na NP ENV 206?
35	103	21.8	C16/20	20	20.5																			
	104	19.9																						
39	105	19.8	C16/20	20	19.8																			
	115	19.9																						
	116	19.5																						
40	117	19.9	C16/20	20	19.8																			
	118	21.5																						
	119	18.9																						
41	120	19.6	C16/20	20	20.0	19.8	20.1	x	✓	C13/17														
	121	19.5																						
	122	21.7																						
42	123	21.4	C16/20	20	20.9																			
	124	21.3																						
	125	23.8																						
43	126	20.7	C16/20	20	21.9																			
	127	21.2																						
	128	21.1																						
44	129	22.6	C16/20	20	21.6	20.9	21.5	x	✓	C14/18	19.8	20.8	1.87	0.87	3	x	✓	C15/19	20.8	1.87	0.64	3	✓	C16/20
	130	20.7																						
	131	19.4																						
46	132	22.3	C16/20	20	20.8																			
	136	21.8																						
	137	22.0																						
46	138	21.3	C16/20	20	21.7	20.8	21.3	x	✓	C14/18	20.8	21.3	1.87	0.64	3	✓	C16/20	21.3	1.87	1.04	4	x	✓	C15/19
	138	21.3																						

Central de Produção
- Ensaios de Resistência à Compressão -
NP ENV 206
- C20/25 -

Nº da amostra	Nº do provete	f_{cp}	Classe Pretendida	f_{ok}	f_{ci}	f_{cm}	Condição 1 ($f_{cm} \geq f_{ok} + 3$)	Condição 2 ($f_{cm} \geq f_{ok} - 1$)	Classe obtida, 3 amostras, na NP ENV 206?	f_{cm}	λ	S_h	k	Condição 1 ($f_{cm} \geq f_{ok} + \lambda S_h$)	Condição 2 ($f_{cm} \geq f_{ok} - k$)	Classe obtida, 6 amostras, na NP ENV 206?	f_{cm}	λ	S_h	k	Condição 1 ($f_{cm} \geq f_{ok} + \lambda S_h$)	Condição 2 ($f_{cm} \geq f_{ok} - k$)	Classe obtida, no global, na NP ENV 206?
7	19	26,6																					
	20	26,9																					
	21	26,3	C20/25	25	26,6																		
9	25	26,0																					
	26	25,8																					
	27	25,7	C20/25	25	25,8																		
12	34	26,4																					
	35	24,5																					
	36	27,3	C20/25	25	26,1	26,2	X	✓	C18/23														
14	40	27,0																					
	41	24,9																					
	42	26,1	C20/25	25	26,0																		
15	43	24,8																					
	44	25,8																					
	45	25,5	C20/25	25	25,4																		
16	46	26,7																					
	47	26,2																					
	48	26,1	C20/25	25	26,3	25,9	X	✓	C17/22	25,4	25,4	25,9	25,4	✓	✓	C20/25	25,4	26,0	1,87	0,42	3	✓	✓
22	64	26,5																					
	65	26,3																					
	66	25,9	C20/25	25	26,2																		
26	76	26,0																					
	77	26,3																					
	78	26,4	C20/25	25	26,2																		
28	82	25,0																					
	83	25,0																					
	84	25,1	C20/25	25	25,0	25,8	X	✓	C17/22	25,0	25,0	25,8	25,0	✓	✓	C19/24	25,0	26,6	1,87	1,08	3	✓	✓
29	85	26,9																					
	86	26,4																					
	87	26,9	C20/25	25	26,7																		
37	109	28,1																					
	110	28,0																					
	111	28,6	C20/25	25	28,2																		
38	112	27,2																					
	113	27,0																					
	114	27,5	C20/25	25	27,2	27,4	X	✓	C19/24	25,0	25,0	27,4	25,0	✓	✓	C19/24	25,0	26,6	1,87	1,08	3	✓	✓
45	133	25,7																					
	134	26,9																					
	135	25,9	C20/25	25	26,2																		
47	139	25,0																					
	140	26,7																					
	141	26,2	C20/25	25	26,0																		
48	142	26,5																					
	143	26,6																					
	144	26,5	C20/25	25	26,5	26,2	X	✓	C18/23	26,0	26,0	26,2	26,0	✓	✓	C20/25	26,0	26,2	1,87	0,29	3	✓	✓

Central de Produção

- Ensaios de Resistência à Compressão -

NP ENV 206

- C25/30 -

Nº da amostra	Nº do provete	f_{sp}	Classe Pretendida	f_{ck}	f_{cd}	f_{cm}	λ	s_n	k	Condição 1 ($f_{cm} \geq f_{ck} + \lambda s_n$)	Condição 2 ($f_{cm} \geq f_{ck} - k$)	Classe obtida, G amostras, na NP ENV 206?	f_{cm}	λ	s_n	k	Condição 1 ($f_{cm} \geq f_{ck} + \lambda s_n$)	Condição 2 ($f_{cm} \geq f_{ck} - k$)	Classe obtida, no global, na NP ENV 206?	
25	73	31,9	C25/30	30	31,4															
	74	31,0																		
	75	31,2																		
27	79	30,0	C25/30	30	30,8															
	80	30,8																		
	81	31,7																		
30	88	31,7	C25/30	30	31,6															
	89	31,2																		
	90	31,9																		
32	94	33,1	C25/30	30	32,7															
	95	32,5																		
	96	32,5																		
33	97	32,9	C25/30	30	32,5															
	98	32,2																		
	99	32,4																		
34	100	32,7	C25/30	30	31,0	30,8	1,87	0,77	3	✓	✓	C25/30	31,7	1,77	0,72	3	✓	✓	C25/30	
	101	30,3																		
	102	30,0																		
36	106	32,2	C25/30	30	32,0	32,0	1,87	0,00	3	✓	✓	C27/32	32,0	1,87	0,00	3	✓	✓	C27/32	
	107	31,9																		
	108	31,9																		

Nº da amostra	Nº do provete	f_{cip}	R_i	Classe do betão	f_{ck}	f_{ci}	IMA3	$f_{cm,10} \geq f_{cm,alvo}$	Classe obtida	$f_{cm} \geq f_{cm,alvo}$	Classe obtida	$f_{ci} - f_{cm,alvo}$	Cusum M	$ f_{ci-1} - f_{ci} $	$ f_{ci-1} - f_{ci} - \bar{R}$	Cusum R	
11	31	23,1	0,9	C16/20	20	22,5	22,1					1,2	7,2	0,1	-1,7	-1,5	
	32	22,3															
	33	22,2															
13	37	20,3	0,7	C16/20	20	20,0	21,7	✓	C16/20			-1,3	5,8	2,5	0,8	-0,7	
	38	20,1															
	39	19,6															
17	49	21,7	0,9	C16/20	20	21,2	21,3					-0,1	5,7	1,2	-0,5	-1,2	
	50	21,2															
	51	20,8															
18	52	21,6	0,5	C16/20	20	21,3	20,8					0,0	5,7	0,1	-1,7	-2,9	
	53	21,2															
	54	21,1															
19	55	20,2	1,6	C16/20	20	21,2	21,2					-0,1	5,6	0,1	-1,7	-4,6	
	56	21,8															
	57	21,6															
20	58	22,2	0,8	C16/20	20	22,3	21,6					1,0	6,6	1,1	-0,6	-5,2	
	59	22,8															
	60	22,0															
21	61	22,8	1,1	C16/20	20	22,2	21,9					0,9	7,5	0,1	-1,6	-6,8	
	62	21,7															
	63	22,1															
23	67	21,9	0,7	C16/20	20	21,7	22,1					0,4	7,9	0,5	-1,3	-8,1	
	68	22,0															
	69	21,3															
24	70	20,3	0,7	C16/20	20	20,8	21,6					-0,6	7,3	1,0	-0,8	-8,9	
	71	21,0															
	72	21,0															
31	91	22,9	0,7	C16/20	20	22,5	21,7					1,1	8,4	1,7	-0,1	-9,0	
	92	22,3															
	93	22,2															
35	103	21,8	2,0	C16/20	20	20,5	21,2					-0,8	7,6	2,0	0,2	-8,8	
	104	19,9															
	105	19,8															
39	115	19,9	0,4	C16/20	20	19,8	20,9	x	C15/19			-1,6	6,0	0,7	-1,0	-9,8	
	116	19,5															
	117	19,9															
40	118	21,5	2,6	C16/20	20	20,0	20,1					-1,3	4,7	0,2	-1,5	-11,3	
	119	18,9															
	120	19,6															

Nº da amostra	Nº do provete	f_{cip}	R_i	Classe do betão	f_{ek}	f_{ci}	IMA3	$f_{cm,10} \geq f_{cm,alvo}$	Classe obtida	$f_{cm} \geq f_{cm,alvo}$	Classe obtida	$f_{ci} - f_{cm,alvo}$	Cusum M	$ f_{ci-1} - f_{ci} $	$ f_{ci-1} - f_{ci} - \bar{R}$	Cusum R
41	121	19,5	2,2	C16/20	20	20,9	20,2					-0,5	4,2	0,9	-0,9	
	122	21,7														
	123	21,4														
42	124	21,3	3,1	C16/20	20	21,9	20,9					0,6	4,8	1,1	-0,7	
	125	23,8														
	126	20,7														
43	127	21,2	1,5	C16/20	20	21,6	21,5					0,3	5,1	0,3	-1,5	
	128	21,1														
	129	22,6														
44	130	20,7	2,9	C16/20	20	20,8	21,5					-0,5	4,6	0,8	-0,9	
	131	19,4														
	132	22,3														
46	136	21,8	0,7	C16/20	20	21,7	21,4	x	C15/19	✓	C16/20	0,4	5,0	0,9	-0,9	
	137	22,0														
	138	21,3														

CENTRAL DE PRODUÇÃO • C20/25

ACI 318 - ACI 214R-02

$$f_{ck} = 25 \text{ MPa} \quad f_{cm} = \sum f_{ci} / 15 = 26,30 \text{ MPa} \quad s_n = 0,75 \text{ MPa} \quad V = s_n / f_{cm} \cdot 100 = 0,75 / 26,30 \times 100 = 2,85 \%$$

Critério 1: $f_{cm,alvo} = f_{ck} + z \cdot s_n = 25 + 1,28 \times 0,75 = 25,96 \text{ MPa}$ $f_{cm,alvo} = f_{ck} / (1 - z \cdot V) = 25 / (1 - 1,28 \times 0,0285) = 25,95 \text{ MPa}$

Critério 2: $f_{cm,alvo} = f_{ck} + z \cdot s_n / \sqrt{n} = 25 + 2,33 \times 0,75 / \sqrt{3} = 26,01 \text{ MPa}$ $f_{cm,alvo} = f_{ck} / (1 - (z \cdot V / \sqrt{n})) = 25 / (1 - (2,33 \times 0,0285 / \sqrt{3})) = 26,00 \text{ MPa}$

Critério 3: $f_{cm,alvo} = (f_{ck} - 3,5) + z \cdot s_n = (25 - 3,5) + 2,33 \times 0,75 = 23,25 \text{ MPa}$ $f_{cm,alvo} = (f_{ck} - 3,5) / (1 - z \cdot V) = (25 - 3,5) / (1 - 2,33 \times 0,0285) = 23,03 \text{ MPa}$

$$\bar{R} = \sum R_i / 15 = 0,86 \text{ MPa} \quad s_1 = \bar{R} / d_2 = 0,86 / 1,693 = 0,51 \text{ MPa} \quad V_1 = s_1 / f_{cm} \cdot 100 = 0,51 / 26,30 \times 100 = 1,94 \%$$

Classificação dos ensaios: Excelente

Cusum M

$$f_{cm,alvo} = f_{ck} + 1,48 \cdot s_n = 25 + 1,48 \times 0,75 = 26,11 \text{ MPa}$$

Decive M = $s_n / 6 = 0,75 / 6 = 0,13 \text{ MPa}$ Intervalo de decisão M = $8,1 \cdot s_n = 8,1 \times 0,75 = 6,08 \text{ MPa}$

Cusum R

$$\bar{R} = s_n \cdot d_2 = 0,75 \times 1,693 = 1,27 \text{ MPa}$$

Decive R = $s_n / 10 = 0,75 / 10 = 0,08 \text{ MPa}$ Intervalo de decisão R = $8,5 \cdot s_n = 8,5 \times 0,75 = 6,38 \text{ MPa}$

Nº da amostra	Nº do provete	f_{cip}	R_i	Classe do betão	f_{ck}	f_{ci}	MA3	$f_{cm,10} \geq f_{cm,alvo}$	Classe obtida	$f_{cm} \geq f_{cm,alvo}$	Classe obtida	$f_{ci} - f_{cm,alvo}$	Cusum M	$ f_{ci-1} - f_{ci} $	$ f_{ci-1} - f_{ci} - \bar{R}$	Cusum R
7	19	26,6														
	20	26,9											0,5			
	21	26,3	0,6	C20/25	25	26,6	-						0,5	-	-	-
9	25	26,0														
	26	25,8											-0,3			
	27	25,7	0,3	C20/25	25	25,8	-						0,2	0,8	-0,5	-0,5
12	34	26,4														
	35	24,5														
	36	27,3	2,8	C20/25	25	26,1	26,2						0,0	0,2	-1,0	-1,5
14	40	27,0														
	41	24,9														
	42	26,1	2,1	C20/25	25	26,0	26,0						-0,1	0,1	-1,2	-2,7
15	43	24,8														
	44	25,8														
	45	25,5	1,0	C20/25	25	25,4	25,8						-0,7	0,6	-0,6	-3,4
16	46	26,7														
	47	26,2														
	48	26,1	0,6	C20/25	25	26,3	25,9						0,2	1,0	-0,3	-3,7
22	64	26,5														
	65	26,3														
	66	25,9	0,6	C20/25	25	26,2	26,0						0,1	0,1	-1,2	-4,9
26	76	26,0														
	77	26,3														
	78	26,4	0,4	C20/25	25	26,2	26,3						0,1	0,0	-1,3	-6,1

Nº da amostra	Nº do provete	f_{cip}	R_i	Classe do betão	f_{ck}	f_{ci}	MA3	$f_{cm,10} \geq f_{cm,alvo}$	Classe obtida	$f_{cm} \geq f_{cm,alvo}$	Classe obtida	$f_{ci} - f_{cm,alvo}$	Cusum M	$ f_{ci-1} - f_{ci} $	$ f_{ci-1} - f_{ci} - \bar{R}$	Cusum R
28	82	25,0	0,1	C20/25	25	25,0	25,8					-1,1	-1,3	1,2	-0,1	
	83	25,0														
	84	25,1														
	85	26,9														
29	86	26,4	0,5	C20/25	25	26,7	26,0	✓	C20/25			0,6	-0,7	1,7	0,4	
	87	26,9														
	109	28,1														
37	110	28,0	0,6	C20/25	25	28,2	26,7					2,1	1,5	1,5	0,2	
	111	28,6														
	112	27,2														
38	113	27,0	0,5	C20/25	25	27,2	27,4					1,1	2,6	1,0	-0,3	
	114	27,5														
	133	25,7														
	134	26,9														
45	135	25,9	1,0	C20/25	25	26,2	27,2					0,1	2,6	1,1	-0,2	
	139	25,0														
	140	26,7														
47	141	26,2	1,7	C20/25	25	26,0	26,5					-0,1	2,5	0,2	-1,1	
	142	26,5														
	143	26,6														
48	144	26,5	0,1	C20/25	25	26,5	26,2	✓	C20/25			0,4	2,9	0,6	-0,7	
	144	26,5														

CENTRAL DE PRODUÇÃO • C25/30

ACI 318 - ACI 214R-02

$$f_{ck} = 30 \text{ MPa} \quad f_{cm} = \sum f_{ci} / 7 = 31,71 \text{ MPa} \quad s_n = 0,72 \text{ MPa} \quad V = s_n / f_{cm} \cdot 100 = 0,72 / 31,71 \times 100 = 2,27 \%$$

$$\text{Critério 1: } f_{cm,alvo} = f_{ck} + z \cdot s_n = 30 + 1,28 \times 0,72 = 30,92 \text{ MPa} \quad f_{cm,alvo} = f_{ck} / (1 - z \cdot V) = 30 / (1 - 1,28 \times 0,0227) = 30,05 \text{ MPa}$$

$$\text{Critério 2: } f_{cm,alvo} = f_{ck} + z \cdot s_n / \sqrt{n} = 30 + 2,33 \times 0,72 / \sqrt{3} = 30,97 \text{ MPa} \quad f_{cm,alvo} = f_{ck} / (1 - (z \cdot V / \sqrt{n})) = 30 / (1 - (2,33 \times 0,0227 / \sqrt{3})) = 30,94 \text{ MPa}$$

$$\text{Critério 3: } f_{cm,alvo} = (f_{ck} - 3,5) + z \cdot s_n = (30 - 3,5) + 2,33 \times 0,72 = 28,18 \text{ MPa} \quad f_{cm,alvo} = (f_{ck} - 3,5) / (1 - z \cdot V) = (30 - 3,5) / (1 - 2,33 \times 0,0227) = 27,98 \text{ MPa}$$

$$\bar{R} = \sum R_i / 7 = 1,09 \text{ MPa} \quad s_1 = \bar{R} / d_2 = 1,09 / 1,693 = 0,64 \text{ MPa} \quad V_1 = s_1 / f_{cm} \cdot 100 = 0,64 / 31,71 \times 100 = 2,02 \%$$

Classificação dos ensaios: Muito Bom

Cusum M

$$\text{Cusum M: } f_{cm,alvo} = f_{ck} + 1,48 \cdot s_n = 30 + 1,48 \times 0,72 = 31,07 \text{ MPa} \quad f_{cm,alvo} = f_{ck} + 2 \cdot s_n = 30 + 2 \times 0,72 = 31,44 \text{ MPa}$$

$$\text{Decive M} = s_n / 6 = 0,72 / 6 = 0,12 \text{ MPa} \quad \text{Intervalo de decisão M} = 8,1 \cdot s_n = 8,1 \times 0,72 = 5,83 \text{ MPa}$$

Cusum R

$$\bar{R} = s_n \cdot d_2 = 0,72 \times 1,693 = 1,22 \text{ MPa}$$

$$\text{Decive R} = s_n / 10 = 0,72 / 10 = 0,07 \text{ MPa} \quad \text{Intervalo de decisão R} = 8,5 \cdot s_n = 8,5 \times 0,72 = 6,12 \text{ MPa}$$

Nº da amostra	Nº do provete	f _{cip}	R _i	Classe do betão	f _{ck}	f _{ci}	MA3	f _{cm,10} ≥ f _{cm,alvo}	Classe obtida	f _{ci} - f _{cm,alvo}	Cusum M	f _{ci-1} - f _{ci}	f _{ci-1} - f _{ci} - \bar{R}	Cusum R
25	73	31,9												
	74	31,0								0,3	0,3	-	-	
	75	31,2	0,9	C25/30	30	31,4	-			-0,2	0,1	0,5	-0,7	-0,7
27	79	30,0												
	80	30,8												
	81	31,7	1,7	C25/30	30	30,8	-			0,5	0,6	0,8	-0,5	-1,1
30	88	31,7												
	89	31,2												
	90	31,9	0,7	C25/30	30	31,6	31,3			1,6	2,2	1,1	-0,1	-1,3
32	94	33,1												
	95	32,5												
	96	32,5	0,6	C25/30	30	32,7	31,7			1,4	3,6	0,2	-1,0	-2,3
33	97	32,9												
	98	32,2												
	99	32,4	0,7	C25/30	30	32,5	32,3			1,4	3,6	0,2	-1,0	-2,3
34	100	32,7												
	101	30,3												
	102	30,0	2,7	C25/30	30	31,0	32,1			-0,1	3,6	1,5	0,3	-2,0
36	106	32,2												
	107	31,9												
	108	31,9	0,3	C25/30	30	32,0	31,8	✓	C25/30	0,9	4,5	1,0	-0,2	-2,2