



Simposio Ibero-Americano "O Betão nas Estruturas"
Simposio Ibero-Americano "el Hormigón en las Estructuras"

Siabe 05

Actas do SIABE 05



Simpósio Ibero-Americano "O Betão nas Estruturas"

Coimbra, 5 a 7 de Julho de 2005

Departamento de Engenharia Civil

Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra

COMISSÃO REDACTORIAL:

Sérgio Lopes (FCTUC), Isabel Pinto (FCTUC), Luís Bernardo (UBI), Luiz Oliveira (UBI),
Ricardo Carmo (ISEC)

COMISSÃO ORGANIZADORA

Sérgio Lopes, FCTUC (Presidente)
Luíz Oliveira, UBI (Vice-Presidente)
Paulo Helene, IBRACON
Cláudio Sbrighi, IBRACON
J. Santos Pato, APEB
J. C. Duarte, APEB
José Calevera, INTEMAC
Jaime Fernandez, INTEMAC

COMISSÃO CONSULTIVA

J. Seabra Santos, Univ. de Coimbra (Reitor)
Armando Rito, Armando Rito Lda.
E. Cansado Carvalho, Grapes
João Bento, Brisa
José Catarino, IEP
Júlio Appleton, IST
J. Câncio Martins, FCTUC

COMISSÃO EXECUTIVA

Sérgio Lopes, FCTUC (Presidente)
Isabel Pinto, FCTUC
José Coutinho, FCTUC
Luís Bernardo, UBI
M. José Luís, ACIV
Pinto Pereira, IEP
Ricardo Carmo, ISEC

COMISSÃO CIENTÍFICA

Joaquim Figueiras, FEUP (Presidente)
Adelino V. Lopes, FCTUC
Ana Maria Sarmento, FEUP
António Adão da Fonseca, FEUP
António Reis, GRID
Arlindo Gonçalves, LNEC
Carmen Andrade, Instituto Eduardo Torroja
Celestino Quaresma, Ordem dos Engenheiros
Cláudio Sbrighi, IBRACON
Esteves Ferreira, ATIC
Jaime Fernandez, INTEMAC
João Almeida Fernandes, LNEC
João Carlos Duarte, APEB
João Henrique Negrão, FCTUC
João Paulo Rodrigues, FCTUC
Jorge de Brito, IST
Jorge Santos Pato, APEB
José Calavera Ruiz, INTEMAC
José Noronha da Câmara, IST
Luís Filipe A. Bernardo, UBI
Luís Miguel da Cruz Simões, FCTUC
Luíz Oliveira, UBI
Manuel Pipa, LNEC
Maria Helena Barros, FCTUC
Paulo Barbosa Lourenço, U. Minho
Paulo Helene, IBRACON
Paulo Providência e Costa, FCTUC
Paulo Monteiro, University of Berkeley
Ricardo do Carmo, ISEC
Rui Faria, FEUP
Rui Furtado, FCTUC
Said Jalali, U. Minho
Sérgio Lopes, FCTUC
Silvino Pompeu dos Santos, LNEC
Valter Lúcio, UNL

ÍNDICE

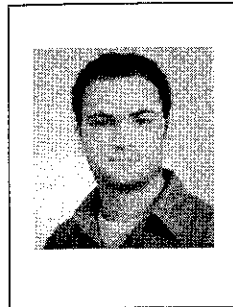
Comissões	iii
Índice	v

TEMA 1 – BETÃO, O MATERIAL

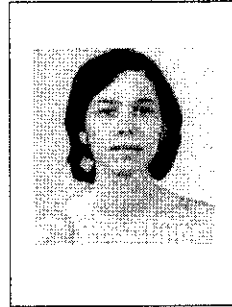
Influência da sílica ativa e do látex SBR na microestrutura da pasta de cimento portland J.A. ROSSIGNOLO	1
Influência do tipo de agregado graúdo na dosagem de concretos convencionais (CCV) P. MANUEL, D. MOLIN	9
Um panorama do uso das escórias siderúrgicas como agregado na construção civil CLAUDIO SBRIGHI, PAULO HELENE	17
Influência da adição de cinza de casca de arroz nos tempos de pega e retração por secagem J.L. AKASAKI, E.J. SILVA, M.M. TASHIMA, M.B. BARSBOSA	25
Influência do teor de metacaulim na resistência à compressão do concreto T. ANDRADE, A.J. COSTA E SILVA, J.M. CRUZ NETO, J.O. VIEIRA FILHO	33
Avaliação da atividade pozolânica de cinzas da casca de arroz produzidas a diferentes temperaturas de queima G.C. CORDEIRO, R.D. TOLEDO FILHO, E.M.R. FAIRBAIRN	41
Medição experimental da absorção de água de betões produzidos com agregados finos reciclados L. EVANGELISTA, J. DE BRITO	49
Minimização do impacto ambiental de concreto com teores muito elevados de adições minerais G. ISAIA, A.L.G. GASTALDINI, M. DAL RI, M. STUMPP	57
Um estudo das propriedades físicas e mecânicas de concretos de alto desempenho utilizando diferentes tipos de aditivos superplastificantes J.L. CALMON, M. VERONEZ, S.B. DOS SANTOS, M.A.S. ANDRADE	65
Concreto colorido. Influência dos materiais constituintes sobre suas qualidades superficiais F. CARVALHO, J. CALAVERA	73

Aplicação de diferentes procedimentos de cura no concreto de alto desempenho (CAD) R. DE O. PINTO, A.L.B. GEYER, S.A. BESERRA	79
Aplicação de métodos de dosagem específicos para concretos de alto desempenho (CAD) R. DE O. PINTO, A.L.B. GEYER, S.A. BESERRA	87
Elementos estruturais de concreto leve de pequena espessura armados com barras e telas de fibras de vidro A.P. PERUZZI, O.P. FERREIRA, J.A. ROSSIGNOLO, R. DELALLIBERA, J.S. GIONGO, E.P. ZURSTRASSEN	95
Concretos reforçados com fibra: avaliação do módulo de elasticidade pelo método da maturidade M.R. SCOARIS, M.P. BARBOSA, N.O. PINTO JR., R.C.A. PINTO	103
Concretos de alto desempenho constituídos com sílica extraída da casca de arroz J.B.L. LIBORIO, A.L. DE CASTRO, F.G. DA SILVA, V.M. SILVA	111
Hormigón reforçado con fibras sintéticas estructurales DAVID GONZALEZ, MANUEL RUEDA	119
Avaliação ambiental comparativa de estruturas metálicas e de estruturas de betão armado A. PEYROTEO, C. CARVALHO, S. JALALI	129
Barreiras rodoviárias em concreto deformável: compromisso entre a segurança e o desenvolvimento sustentável PAULO BINA, RUDOLF P. SCHWARK	137
A difusão de íons cloreto em concretos com altos teores de escória de alto-forno M.P. COSTA JUNIOR, M.G. SILVA, S.M.M. PINHEIRO, F.L. SANTOS, E. ZANDONADE, M.A.M. COELHO, T. MORIMOTO	145
Durabilidade de concreto com escória de alto-forno ativada quimicamente M. COELHO, M.G. SILVA, F.L.S. SOUZA, R. SARMENTO, R.P.M. FRASSON, S.M.M. PINHEIRO, E. ZANDONADE, T. MORIMOTO	153
Durabilidade das edificações de concreto armado em Salvador: uma contribuição à implantação da NBR 6118: 2003 M. VILASBOAS, S.L. MACHADO	161
Sistema de gerência de obras-de-arte especiais em concreto J.W. LENCIONI, M.G. DE LIMA, F. MORELLI	169
Durabilidade em ambiente marítimo de betões protegidos com pinturas acrílicas B. AGUIAR, B. SOUSA	177
Resistência à compressão do concreto: extracção e dimensões dos corpos-de-prova A.C. LARSEN, L.P. MESQUITA, M. ZANELLA, J.S. RODRIGUES, G. FABRO, F.L. WILLRICH, H.C. LIMA JR.	185

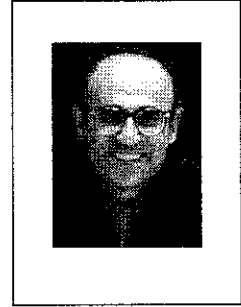
AVALIAÇÃO AMBIENTAL COMPARATIVA DE ESTRUTURAS METÁLICAS E DE ESTRUTURAS DE BETÃO ARMADO



A. Peyroteo
Eng^o Civil
U. Minho
Guimarães,
Portugal



C. Carvalho
Eng^a Civil
DST
Guimarães,
Portugal



S. Jalali
Professor
Associado com
Agregação
U. Minho
Guimarães,
Portugal

SUMÁRIO

Neste artigo, pretende-se aplicar a metodologia da Análise do Ciclo de Vida às estruturas utilizadas na indústria de construção civil. A análise realizada consistiu em avaliar os impactos ambientais e económicos, provocados pela produção dos materiais necessários na execução de uma estrutura em betão armado e em perfis metálicos. No âmbito considerado neste estudo, os resultados obtidos indicam que estrutura de betão armado é mais favorável em termos ambientais e económicos. Paralelamente, abordou o efeito de parâmetro μ nas estruturas de betão armado, tentando estabelecer o valor que conduz às estruturas mais favoráveis em termos ambientais. Os resultados obtidos indicam que nas vigas estudadas o aumento há desfasamento entre o valor de μ económico habitualmente recomendado e o valor ambientalmente recomendado. Constata-se que a medida que o valor de μ aumenta melhora o desempenho ambiental da estrutura.

1. INTRODUÇÃO

O conceito de desenvolvimento sustentável, definido no Relatório de Brundtland em 1987, é um desafio complexo e dinâmico que exige contribuições dos mais diversos sectores de actividades. Contudo, uma abordagem directa ao sector da construção não está presente na generalidade dos documentos publicados sobre desenvolvimento sustentável. Na construção, a

selecção dos materiais deve ter presente o ciclo de vida dos materiais de modo a se ponderar a totalidade dos impactes ambientais que lhes estão associados.

2. OBJECTIVO

Este estudo teve como objectivo analisar e comparar os impactes ambientais originados pelos materiais necessários para a construção de uma estrutura utilizando betão armado e estrutura metálica. Os resultados obtidos, permitiram decidir qual a estrutura mais sustentável em termos ambientais e económicos. Teve-se também por objectivo a criação de um programa de cálculo automático que permitisse realizar uma análise do ciclo de vida de uma estrutura tendo em conta parâmetros ambientais e económicos no contexto português. Finalmente, tentou-se estabelecer o parâmetro μ ambientalmente mais favorável utilizado para o cálculo de estruturas de betão armado e comparar o mesmo com o valor geralmente indicado como valor que conduz a secções mais económicas.

3. METODOLOGIA

A metodologia utilizada neste estudo foi a seguinte:

- Selecção da estrutura para o estudo e estabelecimento de vida útil da estrutura
- Dimensionamento da estrutura e quantificação dos materiais necessários
- Definição do método e as ferramentas para a análise do ciclo de vida da estrutura
- Criação de uma base de dados com recurso a literatura disponível e levantamento directo junto dos fabricantes
- Escolha dos parâmetros ambientais a avaliar
- Estimar os valores dos parâmetros e análise dos mesmos
- Avaliação ambiental do parâmetro μ nas estruturas de betão armado e determinação do valor ambientalmente mais favorável
- Conclusões

4. DESCRIÇÃO DA ESTRUTURA

Para o estudo foi seleccionado um edifício residencial tipo situado em Guimarães. O estudo incidiu sobre um pórtico do edifício constituído por 4 pilares e uma viga continua de 3 vãos (ver figura 1). Para os efeitos deste estudo pode-se considera este pórtico representativo de estrutura do edifício

ponderar a
 dados pelos
 e estrutura
 l em termos
 a de cálculo
 tendo em
 tentou-se
 le estruturas
 que conduz

ara
 rutura
 vantamento
 terminação

s. O estudo
 de 3 vãos (
 entativo de

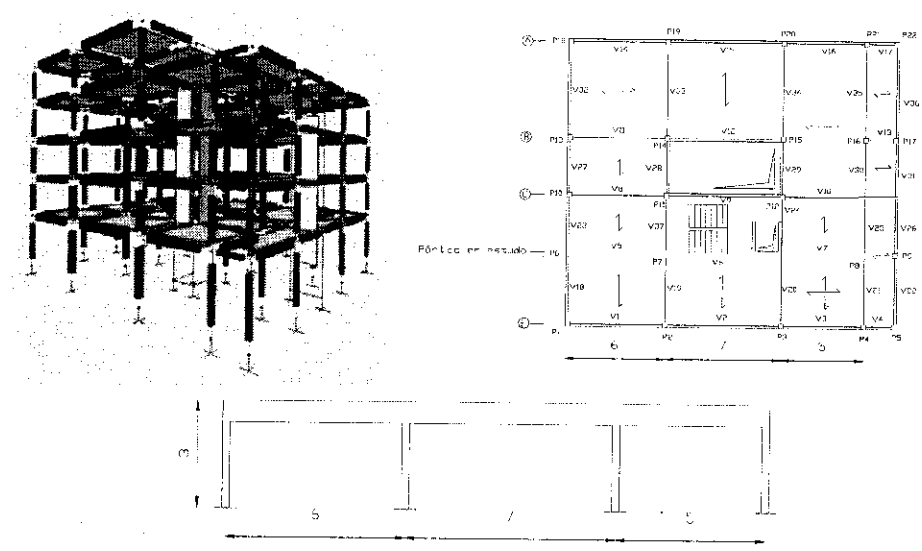


Figura 1: Esquema estrutural e Pórtico considerado do edifício em estudo

5. PESQUISA

5.1. Estrutura de Betão Armado

Os parâmetros ambientais relativos à produção do cimento foram gentilmente cedidos pela Cimpor [1]. Para os agregados, os valores dos parâmetros foram recolhidos de uma empresa de fabrico de agregados [2]. Os dados ambientais da produção das armaduras foram fornecidos pela Siderarugia Nacional [3]. No caso da madeira, optou-se por consultar documentos publicados [4].

Quadro 1 – Parâmetros ambientais relativos à produção do betão armado

Parâmetro	Cimento		Agregados		Água		Armadura		Madeira	
	Valor	Unid.	Valor	Unid.	Valor	Unid.	Valor	Unid.	Valor	Unid.
C.Energia	2.9	GJ/ton	0.010	GJ/ton	0		1.872	GJ/t	0.306	GJ/m ³
Água	0.18	m ³ /ton	0	m ³ /ton	0.500	m ³ /m ³	0.660	m ³ /t	0	m ³ /m ³
CO ₂	675	Kg/ton	0	Kg/ton	0		0.036	t/t	0	t/m ³
SO ₂	0.15	Kg/ton	0	Kg/ton	0		0.005	t/t	0	t/m ³
NOx	2	Kg/ton	0	Kg/ton	0		0.001	t/t	0	t/m ³

5.2. Estrutura Metálica

Após uma pesquisa realizada, constatou-se que a produção de perfis metálicos em Portugal é actualmente inexistente. Assim sendo, optou-se por fazer uma pesquisa junto dos diversos fornecedores nacionais acerca da origem dos seus produtos. Como resultado, obteve-se uma resposta consensual indicando que o principal fornecedor de perfis seria a Espanha. Os dados referentes aos impactes ambientais emitidos pela produção dos perfis metálicos foram retirados de um site de uma empresa produtora espanhola (tabela 2). A empresa consultada foi a Arcelor [5]. Esses dados apenas sofreram adaptações a nível das unidades. Deve-se destacar que o consumo de energia dispendida não foi divulgado no respectivo site, por isso adoptou-se um valor característico da Europa Central [6]. Neste estudo também foram tidos em consideração os impactes ambientais provocados durante o transporte dos perfis para Portugal [6]. Para tal, avaliou-se a distância entre Guimarães (cidade onde se encontra o edifício) e Madrid (cidade onde se situa a empresa produtora de perfis). O impacte resultante do transporte dos perfis foi obtido em função do produto entre emissões produzidas (g/(ton.km)), quantidade de perfis necessária (ton) e a distância a percorrer (km) (tabela 3).

Quadro 2 – Parâmetros ambientais relativos à produção dos perfis metálicos

Parâmetro	Aço	
	Valor	Unid.
Consumo de energia	10	GJ/t
Água	6.600	m ³ /t
CO ₂	1.510	t/t
SO ₂	0.0011	t/t
NO _x	0.001	t/t

Quadro 3 – Parâmetros ambientais relativos ao transporte dos perfis metálicos

Gases	Aço		
	Quantidade produzida	Unid.	Distância (km)
CO ₂	120.00	g/(ton.km)	700
SO ₂	0.10	g/(ton.km)	
NO _x	1.90	g/(ton.km)	

6. RESULTADOS OBTIDOS

6.1. Avaliação das Vigas de Betão Armado

6.1.1 Análise comparativa vigas de diferentes secções

A análise realizada visou avaliar a influência do valor de μ em termos ambientais. Foram definidos vários valores de μ , aos quais corresponderam a diferentes secções (Quadro 4).

Portugal é os diversos eve-se uma a. Os dados um retirados di a Arcelor tacar que o ptou-se um nsideração 6]. Para tal, Irid (cidade os perfis foi le de perfis

ativos ao s

stância km)

700

tais. Foram o 4).

Quadro 4 – Cálculo do valor de μ para as diferentes secções

Viga	Secções	μ
V1	0.35 x 0.70	0.133
V2	0.30 x 0.60	0.217
V3	0.30 x 0.60	0.217
V4*	0.25 x 0.60	0.261
V5	0.30 x 0.55	0.263
V6	0.25 x 0.50	0.389

* Viga considerada como Padrão

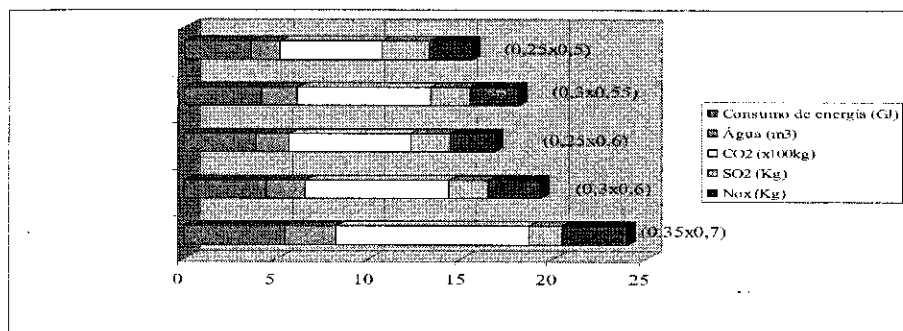


Figura 2: Os impactes provocados pelas diferentes vigas de betão armado

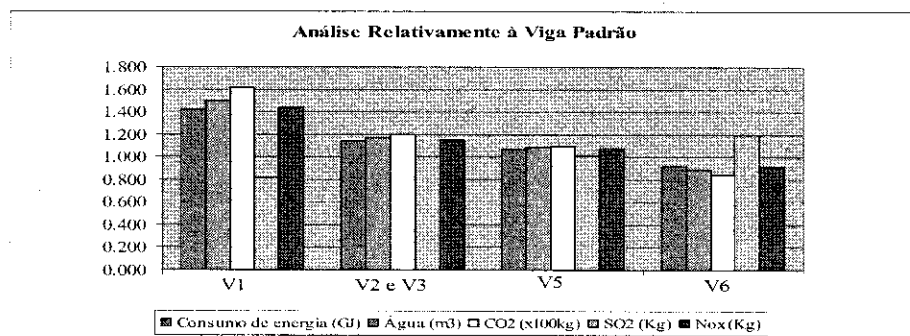


Figura 3: Análise comparativa dos parâmetros escolhidos relativamente a viga padrão

Considerando os parâmetros da viga padrão (viga V4) igual a 1.000, os valores relativos dos parâmetros das vigas de betão armado são apresentados na figura 3. A figura 3 indica que a viga V6 (0.25x0.50 m) apresenta os valores mais favoráveis em termos dos parâmetros escolhidos. É interessante notar que a viga V6 é a viga com densidade de aço mais elevada e cujo μ é igual a 0.389. Verifica-se também, que globalmente os impactes causados decrescem com o aumento da densidade de aço. De notar que para a mesma função, a viga V1 (0.35x0.70 m) apresenta um acréscimo superior a 40% nos parâmetros correspondentes a energia, água, CO2 e NOx em comparação com viga V4 (0.25x0.60). Apenas o parâmetro SO2 tem uma diminuição do impacte ambiental na ordem dos 18%. De uma forma geral, verifica-se que as vigas com μ inferior ao μ da V4 apresentam valores dos parâmetros ambientais mis

desfavoráveis e que as vigas com μ' superior ao μ' da viga padrão são mais favoráveis ambientalmente. Saliente-se ainda que a situação se inverte no que respeita ao parâmetro SO₂, i.e. quanto maior for a percentagem de aço maior será a emissão de SO₂.

6.1.2 Avaliação económica e ambiental de parâmetro μ

A figura 4 apresenta a avaliação económica e os parâmetros ambientais das vigas de betão armado com o aumento de parâmetro μ .

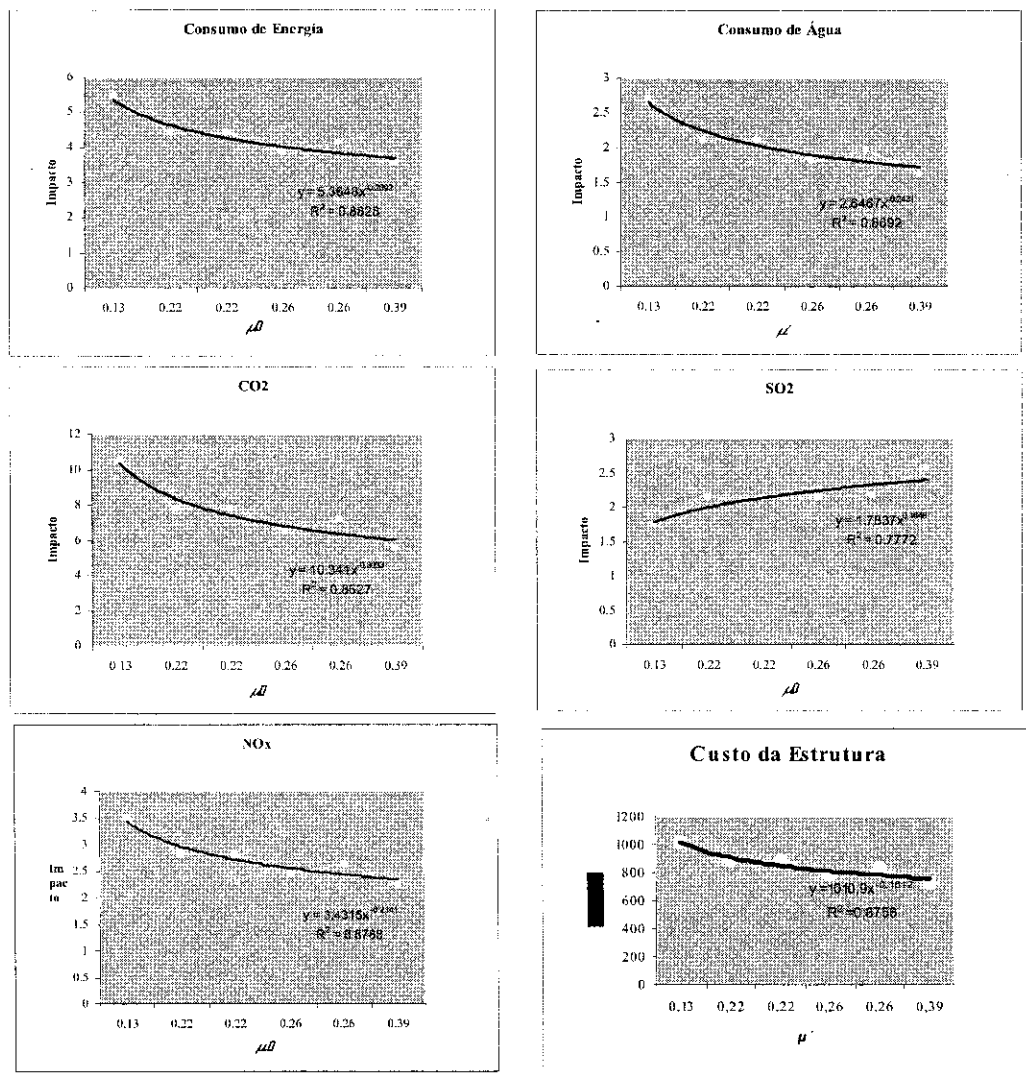


Figura 4: Avaliação de parâmetros ambientais com o aumento de parâmetro μ

favoráveis
etro SO₂,

s de betão

Ao analisar o gráfico do consumo de energia, verifica-se que à medida que se aumenta a percentagem de aço, há uma correspondente diminuição do consumo de energia despendido. Esta tendência é observada também no consumo de água, emissões de CO₂, emissões de NO_x e no custo da estrutura. Neste último parâmetro, apesar de haver um aumento do custo correspondente ao aço, haverá uma redução global do custo à medida que a secção diminui devido à execução da cofragem e da quantidade de betão (esta é menor nas vigas com maior quantidade de aço). As emissões de SO₂ serão tanto maiores quanto for a percentagem de aço utilizada.

6.2 Comparação da viga metálica com a viga de betão armado mais sustentável

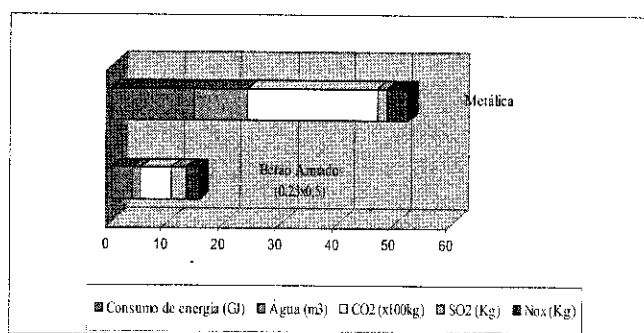


Figura 5: Representação gráfica dos resultados obtidos

A figura 5 indica que a estrutura metálica tem maior consumo de energia relativamente à de betão armado, cerca de 14 GJ, enquanto que a estrutura de betão armado consome cerca de 4 GJ, i.e. quatro vezes maior do que a estrutura de betão armado. No consumo de água, verifica-se que este é maior para a estrutura metálica, 9 m³ versus 2 m³ para estrutura de betão armado. Relativamente ao Dióxido de Carbono (CO₂) a diferença é bastante significativa, apresentando a estrutura metálica valores elevados para o seu fabrico transporte, na ordem dos 2300 Kg de CO₂, enquanto que a estrutura de betão armado apresenta valores na ordem dos 550 Kg. Quanto às emissões de Dióxido de enxofre (SO₂) é possível apurar, ao invés dos outros parâmetros, que a estrutura de betão armado emite maiores quantidades. Neste caso, a estrutura de betão armado emite 2.5 Kg de SO₂, enquanto que a metálica emite 1.7 Kg. Na análise efectuada ao Óxido de Azoto (NO_x) emitido verifica-se que, mais uma vez, a estrutura de betão armado produz menores quantidades. São gerados aproximadamente 2 Kg de NO_x na estrutura de betão armado e cerca de 4 Kg na estrutura metálica. A avaliação da figura 5 indica que há uma diferença significativo em termos económicos e ambientais na realização do pórtico em betão armado ou em perfis metálicos. Contudo, deve ter-se em atenção que os custos de manutenção e deposição do fim da vida não foram considerados neste estudo e podem ter um peso significativo na avaliação global do pórtico.

7. CONCLUSÕES

De acordo com o estudo elaborado, a viga mais sustentável é a V6 (secção 0.25 x 0.50). Esta é a viga em que se utilizou uma maior percentagem de aço ($\mu'=0.389$) e um menor volume de betão. Desta forma, pode-se constatar que, em termos ambientais e para as secções estudadas, quanto maior for a quantidade de aço utilizada menores serão os impactos causados. Este resultado justifica-se uma vez que, apesar da viga V6 necessitar de uma maior quantidade de aço, necessita de uma secção mais reduzida. Assim, a quantidade de cimento, madeira para cofragem, agregados e água utilizada é menor sendo o custo global do pórtico menor.

No dimensionamento de estruturas de betão armado é habitual considerar que a percentagem de aço mais indicada ($\mu_{\text{económico}}$) tem o valor de 0.25. No presente estudo procurou-se investigar os impactos ambientais e económicos, variando a percentagem de aço utilizada, aumentando o valor de μ de 0.133 a 0.389. Os resultados obtidos indicam que a medida que a percentagem de aço utilizada aumenta os impactos ambientais e custos económicos diminuem. O parâmetro μ ambientalmente mais favorável conduziu ao valor de 0.389, que é significativamente superior ao valor de 0.25 habitualmente considerado como mais indicado.

A avaliação comparativa da estrutura metálica e de betão armado indica que os parâmetros ambientais relativos à estrutura metálica são mais elevados do que os da estrutura de betão armado. O parâmetro em que a estrutura de betão armado é mais desfavorável é o dióxido de enxofre, embora o seu valor absoluto é reduzido, i.e. 2.5 kg para estrutura de betão armado contra 1.7 kg na estrutura metálica. É importante salientar que neste estudo os custos de manutenção e deposição ou reciclagem no fim da vida não foram considerados. Os estudos relacionados com estas fases encontram-se em execução.

8. REFERENCIAS

- [1] CIMPOR – Relatório de Sustentabilidade: Actividade económica, ambiental e social. Multitema; 2003.
- [2] Eng. Virgílio Silva; empresa DST – Domingos da Silva Teixeira, S.A., comunicação verbal; 2004.
- [3] Eng. Fernando Lourenço; Siderurgia Nacional, comunicação verbal; 2004.
- [4] Jorge de Brito; Congresso Ibérico das Madeiras (CIMAD); Guimarães; 2003.
- [5] www.arcelor.com
- [6] BERGE, B.; *The Ecology of Building Material*; Architectural Press, Bath, 1999.