



Universidade do Minho
Escola de Engenharia

Marisa Alexandra Furtado da Silva Oliveira

Análise e simulação da produção
de moldes para injeção de plásticos



Universidade do Minho
Escola de Engenharia

Marisa Alexandra Furtado da Silva Oliveira

Análise e simulação da produção
de moldes para injeção de plásticos

Dissertação de Mestrado
Mestrado em Engenharia Industrial

Trabalho efectuado sob a orientação do
Professor Doutor Luís Miguel da Silva Dias

DECLARAÇÃO

Nome:

Marisa Alexandra Furtado da Silva Oliveira

Endereço eletrónico: marisaa_oliveira@live.com.pt Telefone: 917118907/252067418

Número do Bilhete de Identidade: 14163363

Título da dissertação:

Análise e simulação da produção de moldes para injeção de plásticos

Orientador:

Professor Doutor Luís Miguel da Silva Dias

Ano de conclusão: 2015

Designação do Mestrado:

Mestrado em Engenharia Industrial

É AUTORIZADA A REPRODUÇÃO INTEGRAL DESTA DISSERTAÇÃO APENAS PARA EFEITOS DE INVESTIGAÇÃO, MEDIANTE DECLARAÇÃO ESCRITA DO INTERESSADO, QUE A TAL SE COMPROMETE;

Universidade do Minho, ___/___/_____

Assinatura:

AGRADECIMENTOS

Este espaço é dedicado a todos os que contribuíram para a realização desta dissertação. Embora seja um projeto individual, foram vários os contributos e opiniões recebidos durante a realização deste projeto e que permitiram a conclusão do mesmo. Face a isto, é meu dever agradecer-lhes.

Ao orientador da dissertação, Professor Doutor Luís Miguel da Silva Dias, pelas ideias sugeridas e pelo apoio demonstrados durante a realização da dissertação.

À empresa Celoplás – Plásticos para a Indústria, S.A., na pessoa do Sr. Engenheiro João Oliveira Cortez, pela oportunidade em realizar esta dissertação através de um estágio curricular e numa empresa que reúne todas as condições para a realização do mesmo e, também, pela bolsa de estágio oferecida durante o mesmo.

Aos engenheiros Bruno Correia, Duarte Santos e Pedro Correia pela troca de ideias e por toda a disponibilidade para esclarecer as minhas dúvidas.

A todos os funcionários da serralharia por toda a colaboração.

Ao Bruno Gonçalves pela leitura da dissertação.

Aos meus pais pelo apoio e incentivo durante a minha formação, proporcionando-me a oportunidade de alcançar os meus objetivos académicos.

A todos os meus amigos, pela partilha de opiniões e experiências e pela paciência para ouvirem os meus desabafos.

RESUMO

A presente dissertação foi desenvolvida em contexto industrial, tendo como principal objetivo a otimização do planeamento e do controlo da produção de moldes da empresa Celoplás – Plásticos Para a Indústria, S. A., através da construção de um modelo de simulação no *software* Arena®. Com recurso ao modelo desenvolvido foi possível caracterizar o comportamento do sistema atual e, face aos resultados obtidos, identificar possíveis melhorias e analisar o comportamento do sistema com a inclusão dessas melhorias. O projeto de investigação iniciou-se através da observação dos processos produtivos e das variáveis que poderiam interferir com os tempos de produção. Durante o acompanhamento da produção dos moldes recolheram-se vários dados que, posteriormente, foram utilizados na construção do modelo de simulação, nomeadamente, a quantidade e o tempo diário disponível para execução das tarefas dos operadores e equipamentos, as sequências de produção de cada uma das peças, o *layout*, os tempos de produção e de *setup*, a identificação das várias operações e quais os operadores disponíveis para a execução das mesmas.

O modelo de simulação desenvolvido no Arena® permitiu identificar pontos de estrangulamento no sistema, a ocupação dos operadores e dos equipamentos, o tempo total das peças no sistema em atividades de valor acrescentado e não acrescentado. Em todos os casos o tempo de espera das peças foi superior ao tempo que permaneceram em atividades de valor acrescentado.

As alterações sugeridas tiveram o intuito de diminuir o tempo de espera e o tempo total das peças no sistema produtivo bem como aumentar a ocupação dos operadores. Sendo assim, foram propostas melhorias nos setores de corte, torneamento, retificação cilíndrica, fresagem, eletroerosão fio e eletroerosão penetração. Em todos os cenários desenvolvidos com as melhorias verificou-se que o tempo de espera e o tempo total das peças diminuí consideravelmente comparativamente com o sistema atual. Para trabalho futuro sugeriu-se a colocação de um posto de controlo após a fresagem, o controlo diário dos tempos registados, a introdução de dispositivos para controlo do consumo dos equipamentos, o uso de modelos de previsão dos tempos de produção e a programação mais detalhada da produção com vários dias inalteráveis.

PALAVRAS-CHAVE

Simulação, Arena®, otimização, moldes.

ABSTRACT

This dissertation was developed in an industrial context, and its main objective is optimizing the planning and production control of moulds for a specific company: Celoplás – Plásticos Para a Indústria, S.A., through the construction of a simulation model by using the Arena® software. Through the simulation model it was possible to characterize the real system behaviour and, according to the results, identify possible improvements and analyse system behaviour with the inclusion of these improvements.

The research project was initiated through observation so as to know all production processes and the respective variables that may interfere with production times. During the follow-up of moulds production various data were collected which, afterwards, were used in the construction of the simulation model, namely the quantity and daily time available for the equipment and operators' tasks performance, the production sequences of each part, the layout, the production and setup times, the identification of the various tasks and which operators were available for their execution.

The simulation model developed in Arena® allowed us to identify bottlenecks in the system, the operators and equipment occupation, the total time of the parts in the system on value-added and not added activities. In all cases the waiting time of the parts was greater than the time they remained in value-added activities.

The suggested changes were designed to reduce waiting time and the total time of the parts in the production system, as well as to increase the occupation of operators. Thus, proposals have been made to improve the cutting sectors, the turning, the cylindrical grinding, the milling, EDM wire and penetration. In all the developed scenarios and after the introduction of improvements, it was realized that the waiting time and the total time of the parts was significantly reduced when compared to the real system. For future work, it was suggested the placement of a checkpoint after milling, the daily control of registered times, the introduction of devices for controlling the equipment consumption, the use of predictive models of production times and production scheduling with various unchanged days.

KEYWORDS

Simulation, Arena, optimization, molds.

ÍNDICE

Agradecimentos.....	iii
Resumo.....	v
Abstract.....	vii
Índice de Figuras.....	xiii
Índice de Tabelas.....	xix
Lista de Abreviaturas, Siglas e Acrónimos.....	xxi
1. Introdução.....	1
1.1 Enquadramento.....	1
1.2 Objetivos.....	2
1.3 Metodologia de Investigação.....	2
1.4 Estrutura da dissertação.....	3
2. Revisão Bibliográfica.....	5
2.1 Sistemas de produção.....	5
2.1.1 Implantação orientada ao produto.....	5
2.1.2 Implantação orientada ao processo.....	6
2.1.3 Implantação por célula.....	6
2.1.4 Implantação fixa.....	7
2.2 Planeamento dos sistemas de produção.....	7
2.2.1 Planeamento estratégico.....	10
2.2.2 Planeamento tático.....	10
2.2.3 Planeamento operacional.....	10
2.3 Introdução à simulação.....	11
2.3.1 Construção de um modelo de simulação.....	12
2.3.2 Validação e verificação do modelo de simulação.....	14
2.3.3 Regras para a recolha de dados.....	15
2.4 Implementação da filosofia <i>Lean</i> em ambientes de simulação.....	16
2.5 Software Arena®.....	17

2.5.1	Conceitos básicos na modelação em Arena®.....	18
2.5.2	Elementos do Arena®	20
2.6	Relatórios de simulação.....	22
3.	Celoplás – Plásticos para a Indústria, S.A.....	25
3.1	Apresentação da empresa	25
3.2	Missão e visão	26
3.3	Áreas de negócio.....	26
3.4	Atividades da empresa	27
3.4.1	IDI – Investigação, Desenvolvimento e Inovação.....	27
3.4.2	Fabrico de moldes	27
3.4.3	Injeção	27
3.4.4	Montagem.....	27
3.4.5	Impressões.....	27
3.5	Produtos	27
4.	Os moldes na indústria dos plásticos.....	29
4.1	Situação atual da Indústria Portuguesa de Produção de Moldes	29
4.2	Constituição dos moldes.....	30
4.3	Fases de execução de um molde na indústria dos plásticos	33
4.3.1	Projeto	34
4.3.2	Corte.....	34
4.3.3	Maquinação: torneamento e fresagem	34
4.3.4	Tratamento térmico	36
4.3.5	Retificação.....	36
4.3.6	Eletroerosão: eletroerosão fio e eletroerosão penetração	38
4.3.7	Banca	39
5.	Modelação do Sistema Produtivo.....	41
5.1	Recolha de dados.....	41
5.2	Construção do modelo	43
5.2.1	Validação e verificação do modelo.....	58
5.3	Análise da situação atual	58

5.4	Proposta e análise das melhorias	71
6.	Conclusões finais e trabalho futuro.....	79
	Referências Bibliográficas	83
	Anexo I – Lista de Materiais	86
	Anexo II - Planta da Serralharia	89
	Anexo III – Modelação dos sistemas produtivos.....	90
	Anexo IV – Sequências de Produção	97
	Anexo V – Esquemas de Produção.....	105
	Anexo VI – Tabelas dos tempos de produção e de setup	109
	Anexo VII – Horários dos recursos.....	112
	Anexo VIII – Entrada das entidades no sistema modelado	115
	Anexo IX – Proposta de <i>Layout</i>	117

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Implantação orientada ao produto	6
Figura 2: Implantação orientada ao processo	6
Figura 3: Implantação por célula.....	7
Figura 4: Processo de seleção de recursos.....	8
Figura 5: Evolução do nível de planeamento.....	9
Figura 6: Níveis de planeamento da produção.....	10
Figura 7: Áreas de aplicação da simulação.....	11
Figura 8: Etapas na construção de um modelo de simulação	13
Figura 9: Ranking de utilização dos <i>softwares</i> disponíveis.....	17
Figura 10: Parâmetros da simulação.....	22
Figura 11: Celoplás - Plásticos Para Indústria, S.A.....	25
Figura 12: Empresas do grupo.....	26
Figura 13: Principais clientes	26
Figura 14: Exemplos de produtos termoplásticos	28
Figura 15: Exemplos de produtos termoendurecíveis.....	28
Figura 16: Exemplos de produtos em silicone	28
Figura 17: Principais clientes dos fabricantes de moldes	29
Figura 18: Principais destinos dos moldes produzidos em Portugal	30
Figura 19: Sistemas funcionais de um molde.....	31
Figura 20: Classificação dos moldes quanto ao tipo de sistema de alimentação.....	32
Figura 21: Constituição de um molde de duas placas.....	33
Figura 22: Operações de torneamento	35
Figura 23: Componentes de um torno e respetivos movimentos	35
Figura 24: Fresagem horizontal	35
Figura 25: Fresagem vertical.....	35
Figura 26: Alguns tipos de rebolos	37
Figura 27: Retificação plana	37
Figura 28: Retificação cilíndrica externa	38
Figura 29: Retificação cilíndrica interna.....	38
Figura 30: Tipos de furação	39

Figura 31: Introdução do registo de dados no Excel.....	43
Figura 32: Exemplo da introdução de uma sequência de produção.....	43
Figura 33: Definição de um atributo para cada molde	44
Figura 34: Utilização dos atributos num bloco Decide.....	45
Figura 35: Tabelas Expression disponíveis no separador Advanced Process.....	45
Figura 36: Exemplificação da construção da tabela Expression através do esquema de produção do molde 1.....	46
Figura 37: Tabelas Expression dos respetivos moldes	46
Figura 38: Simplificação da construção do modelo com recurso às tabelas Expression	47
Figura 39: Caracterização de uma peça através do atributo "numero_peca"	47
Figura 40: Exemplificação da introdução dos tempos registados através das tabelas Expression	48
Figura 41: Representação do processo de preparação de corte do molde 2.....	49
Figura 42: Representação do processo de corte do molde 2.....	49
Figura 43: Horários dos recursos introduzidos no Arena®.....	50
Figura 44: Representação dos horários dos recursos através de Schedules	51
Figura 45: Atribuição das meias horas com o valor 0 e 1 do horário A.....	51
Figura 46: Sets de recursos utilizados na modelação do sistema.....	52
Figura 47: Set representativo dos operadores disponíveis para o processo de furação rápida	52
Figura 48: Utilização do Set "Operadores furacao rapida" num bloco Process	52
Figura 49: Exemplo da introdução de entidades no sistema modelado através de um bloco <i>Create</i>	53
Figura 50: Caracterização da entidade "Injetor_molde2" através do bloco <i>Assign</i>	53
Figura 51: Atribuição da prioridade na produção	54
Figura 52: Utilização do bloco <i>Route</i> na introdução das entidades no sistema	54
Figura 53: Station representativa da estação de trabalho de corte	55
Figura 54: Representação do processo de corte	56
Figura 55: Exemplo de uma operação em que o operador deve estar presente até a mesma estar terminada.....	56
Figura 56: Utilização de blocos Batches na eletroerosão penetração.....	57
Figura 57: Saída das entidades no sistema	57
Figura 58: Parâmetros do modelo de simulação.....	57
Figura 59: Comparação do VA obtido na simulação com o observado.....	58
Figura 60: Registo de tempos de produção de peças que não pertenciam ao molde 3.....	58

Figura 61: Relação entre o serviço e o momento em que os operadores registam os tempos de produção dos mesmos.....	63
Figura 62: Ocupação dos setores (horas) por molde.....	63
Figura 63: Ocupação (horas) dos setores em cada semana de observação.....	64
Figura 64: Ocupação dos moldes (horas) em cada semana de observação.....	64
Figura 65: Relatório de simulação do anel centragem da extração do molde 1.....	65
Figura 66: Submodelo para contagem da ocupação do operador de torneamento e corte.....	65
Figura 67: Ocupação diária do operador de torneamento e corte.....	66
Figura 68: Ocupação diária do operador de eletroerosão fio.....	66
Figura 69: Ocupação diária do fresador 1.....	67
Figura 70: Ocupação diária do fresador 2.....	67
Figura 71: Ocupação diária do fresador 3.....	67
Figura 72: Ocupação diária do fresador 4.....	67
Figura 73: Ocupação diária do operador de eletroerosão penetração 1.....	68
Figura 74: Ocupação diária do operador de eletroerosão penetração 2.....	68
Figura 75: Ocupação diária do operador de eletroerosão penetração 3.....	68
Figura 76: Ocupação diária do operador de banca 1.....	69
Figura 77: Ocupação diária do operador de banca 2.....	69
Figura 78: Ocupação diária do operador de banca 3.....	69
Figura 79: Ocupação diária do operador de banca 4.....	69
Figura 80: Ocupação diária do retificador 1.....	70
Figura 81: Ocupação diária do retificador 2.....	70
Figura 82: Ocupação diária do retificador 3.....	70
Figura 83: Ocupação diária do retificador 4.....	71
Figura 84: Número total de utilizações de cada recurso.....	71
Figura 85: Alteração das zonas de corte e torneamento.....	72
Figura 86: Planta da serralharia.....	89
Figura 87: Esquema de produção do molde 1.....	105
Figura 88: Esquema de produção do molde 2.....	106
Figura 89: Esquema de produção do molde 3.....	107
Figura 90: Esquema de produção do molde 4.....	108
Figura 91: Tempos de produção do molde 1.....	109

Figura 92: Tempos de setup do molde 1.....	109
Figura 93: Tempos de produção do molde 2.....	109
Figura 94: Tempos de setup do molde 2.....	110
Figura 95: Tempos de produção do molde 3.....	110
Figura 96: Tempos de setup do molde 3.....	110
Figura 97: Tempos de produção do molde 4.....	111
Figura 98: Tempos de setup do molde 4.....	111
Figura 99: Horário do operador de banca 3, retificador 1, fresador 1 e operador de eletroerosão penetração 1	112
Figura 100: Horário do operador de eletroerosão fio e respetivos equipamentos	112
Figura 101: Horário do operador de banca 1, retificador 2, fresador 2, operadores de eletroerosão penetração 2 e 3 e da retificadora plana Jung.....	112
Figura 102: Horário do operador de banca 2	112
Figura 103: Horário do retificador 2	113
Figura 104: Horário do retificador 4 e das retificadoras cilíndricas	113
Figura 105: Horário do operador de torneamento e corte, serra de corte e torno	113
Figura 106: Horário do fresador 3 e das fresadoras de elétrodos.....	113
Figura 107: Horário do operador de banca 4, fresador 4, equipamento de gravação e fresadoras estrutura e de acabamento de posições temperados	113
Figura 108: Horário da retificadora plana AMADA.....	113
Figura 109: Horário da retificadora plana DANOBAT	114
Figura 110: Horário das retificadoras plana E540 e E540II e das máquinas de corte de peças compradas, de furação e roscagem	114
Figura 111: Horário dos equipamentos de eletroerosão penetração e da grua	114
Figura 112: Horário das fresadoras de placas e posições.....	114
Figura 113: Horário do equipamento de furação rápida.....	114
Figura 114: Entrada das peças do molde 1.....	115
Figura 115: Entrada das peças do molde 2.....	115
Figura 116: Entrada das peças do molde 3.....	115
Figura 117: Entrada das peças do molde 4.....	115
Figura 118: Entrada dos elétrodos do molde 1	116
Figura 119: Entrada dos elétrodos do molde 2.....	116

Figura 120: Entrada dos elétrodos do molde 3.....	116
Figura 121: Entrada dos elétrodos do molde 4.....	116
Figura 122: Proposta de <i>layout</i>	117

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1: Explicação dos blocos do <i>Basic Process</i>	20
Tabela 2: Explicação dos blocos do <i>Advanced Process</i>	21
Tabela 3: Número de entidades referentes a cada molde e respectivas quantidades totais	41
Tabela 4: Recursos disponíveis em cada operação e respectivos horários dos operadores	42
Tabela 5: Prioridades na produção das peças e elétrodos.....	44
Tabela 6: Alguns exemplos da heterogeneidade entre os tempos observados e registados	59
Tabela 7: Tempo utilizado em retrabalho	60
Tabela 8: Diferenças entre os tempos observados e os tempos registados pelos operadores.....	61
Tabela 9: Tempo de espera (h) de cada molde no setor de torneamento na situação real e na situação com a proposta de melhoria	72
Tabela 10: Tempo de espera (h) de peças torneadas na situação real e na situação com a proposta de melhoria.....	73
Tabela 11: Tempo de espera (h) de algumas operações de cada molde no setor de corte na situação real e na situação com a proposta de melhoria.....	73
Tabela 12: Tempo de espera (h) de peças fresadas na situação real e na situação com a proposta de melhoria.....	73
Tabela 13: Tempo de espera (h) de cada molde no setor de retificação cilíndrica na situação real e na situação com a proposta de melhoria.....	74
Tabela 14: Tempo de espera (h) de peças retificadas na situação real e na situação com a proposta de melhoria.....	75
Tabela 15: Tempo de espera (h) de peças sujeitas à eletroerosão penetração na situação real e na situação com as propostas de melhoria	75
Tabela 16: Tempo de espera (h) de algumas operações de cada molde no setor de eletroerosão penetração na situação real e na situação com as propostas de melhoria.....	76
Tabela 17: Tempo de espera (h) de algumas operações de cada molde no setor de eletroerosão fio na situação real e na situação com as propostas de melhoria	77
Tabela 18: Diferenças entre o tempo total no sistema (horas) de cada molde na situação real e após a introdução de melhorias	78

LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E ACRÓNIMOS

CAD	Computer Aided design
CAE	Computer Aided Engineering
CAM	Computer Aided Manufacturing
CEFAMOL	Associação Nacional da Indústria de Moldes
EDM	Electrical Discharge Machining
ERP	Enterprise Resource Planning
MRP	Materials Requirements Planning
NVA	Non Value Added
PPC	Production Planning and Control
PVD	Physical Vapor Deposition
VA	Value Added
WIP	Work In Process

1. INTRODUÇÃO

O presente capítulo contém um breve enquadramento do tema do presente projeto de investigação, a identificação dos objetivos, a metodologia de investigação aplicada bem como a estrutura do relatório.

1.1 Enquadramento

As empresas procuram diversas formas de melhorar a sua competitividade e, durante a primeira metade do século XX, a eficiência da produção foi suficiente para responder à procura do mercado. Contudo, o aumento da concorrência obrigou as empresas a melhorar as suas operações e a rentabilizar a utilização dos recursos. Atualmente as empresas devem ser competitivas em diversas áreas, tais como a qualidade, a entrega, a eficiência de custo e a flexibilidade e, face a isto, o planeamento e controlo da produção revela-se como uma ferramenta crucial para atingir os seus objetivos nas áreas referidas (Olhager, 2013). A simulação por computador tem provado ser uma ferramenta de análise extremamente útil e tem vindo a ser amplamente utilizada no projeto e análise dos sistemas produtivos há mais de 30 anos. A sua utilização permite visualizar e analisar a dinâmica dos sistemas de produção e, desta forma, auxiliar o processo de tomada de decisões reduzindo o risco inerente às mesmas. O exercício da simulação envolve o desenvolvimento de modelos de computador descritivos de um dado sistema em estudo e permite prever o desempenho operacional do sistema que está a ser modelado (Smith, 2003).

O principal motivo da utilização da simulação é a tomada de decisões, ou seja, melhores decisões levam ao aumento da eficiência e redução dos custos para a empresa. A simulação pode ser usada para a previsão do desempenho, avaliação de um determinado recurso, comparar várias alternativas do sistema, conhecer o sistema em diferentes fases, detetar problemas e apresentar resultados (Klingstam & Gullander, 1999) .

Os sistemas de produção estão constantemente a sofrer alterações estruturais devido à introdução, substituição ou eliminação de novos componentes de forma a reagir às mudanças nos produtos, na tecnologia e no mercado. Face a estas constantes alterações, a simulação por computador revela-se como uma técnica adequada para observar e manipular os sistemas que se pretendam modificar, uma vez que permite obter resultados quantitativos do impacto de cada potencial alteração antes de interagir com o sistema real. Através da simulação é possível adaptar o sistema em estudo num sistema virtual e, deste modo, simular sistemas já existentes bem como aqueles que estão numa fase preliminar ou de desenvolvimento (Seleim, Azab, AlGeddawy, Chryssolouris, & Mourtzis, 2012).

Capítulo 1

Entre os diversos *softwares* existentes no mercado que permitem modelar sistemas, será utilizado o Arena®.

O presente projeto decorreu na empresa Celoplás – Plásticos para a Indústria, S.A, mais concretamente no setor de produção de moldes. Esta empresa dedica-se à injeção de plástico, tendo capacidade e recursos disponíveis para produzir os seus próprios moldes. Esta secção apresenta alguns problemas, nomeadamente no registo de tempos de produção, inexistência de um posto de controlo após a etapa de maquinação e elevadas movimentações referentes a um determinado operador. Durante o período de estágio foi acompanhada a produção de 4 tipos de moldes, em que foi observado o percurso de todas as peças que compõem, nomeadamente, identificação da sequência de produção de cada peça e dos recursos disponíveis para a realização das várias operações e registo dos tempos de produção e *setup* em cada operação.

Através da aplicação da simulação por computador neste setor foi possível identificar o percurso total das peças, incluindo tempos de espera e tempos em atividades que acrescentaram valor e a ocupação dos recursos. Após a identificação dos problemas através do modelo de simulação, foram sugeridas algumas propostas de melhoria.

1.2 Objetivos

O objetivo da presente dissertação consiste em reorganizar o setor da serralharia da empresa Celoplás – Plásticos para a Indústria, S. A., de forma a eliminar desperdícios e aumentar a produtividade, cujos objetivos mais específicos são:

- Análise detalhada da utilização dos recursos;
- Controlar o tempo total de produção;
- Visão mais alargada das operações fabris;
- Melhor avaliação e controlo das operações fabris;
- Ensaio de diferentes cenários para avaliação das melhorias consequentes;
- Aumento do nível de autoconhecimento dos processos na empresa.

1.3 Metodologia de Investigação

A metodologia de investigação utilizada no desenvolvimento da dissertação foi a investigação-ação através de uma participação ativa entre o observador e as pessoas envolvidas no projeto.

Inicialmente efetuou-se uma pesquisa bibliográfica com o objetivo de adquirir mais conhecimento sobre o âmbito de investigação, nomeadamente, os vários tipos de sistemas de produção, as técnicas

referentes ao planeamento da produção, o conceito de simulação e respetivas áreas de aplicação, como construir modelos de simulação, a utilização de *Lean* em ambientes de simulação e, também, sobre a área de foco da investigação, a produção de moldes na indústria dos plásticos. A pesquisa bibliográfica realizou-se através de dissertações desenvolvidas na área, livros, artigos científicos e documentos relacionados com o tema da dissertação.

1.4 Estrutura da dissertação

A presente dissertação é constituída por 6 capítulos.

O capítulo 1 apresenta uma pequena introdução do tema a ser tratado, os objetivos propostos, a metodologia de investigação e a estrutura da dissertação.

O capítulo 2 é dedicado à revisão bibliográfica onde são abordados diversos conceitos, nomeadamente, os tipos de configuração dos sistemas de produção, o planeamento da produção e respetivos níveis de planeamento, a simulação por computador e tudo o que envolve a construção de modelos de simulação e é referida a importância da filosofia *Lean* em ambientes de simulação. Neste capítulo também é referido o *software* que será utilizado bem como uma explicação do funcionamento do mesmo.

O capítulo 3 aborda a empresa onde o presente projeto de investigação decorreu, onde é feita uma breve descrição da mesma através da sua história, identificação da missão e visão, áreas de negócio, atividades da empresa e produtos.

O capítulo 4 faz uma referência à produção dos moldes utilizados na injeção de plásticos, nomeadamente, através da descrição de um molde e as etapas que levam à produção do mesmo.

O capítulo 5 descreve a modelação do sistema produtivo com recurso ao Arena® onde é abordado a forma como decorreu a recolha de dados, a construção do modelo de simulação e a respetiva análise de resultados bem como a análise das melhorias propostas.

Por último, o capítulo 6 aborda as conclusões finais sobre o trabalho realizado e efetuam-se sugestões de trabalho futuro.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Neste capítulo é efetuada a revisão bibliográfica sobre os sistemas de produção, nomeadamente sobre como pode ser o *layout* e o planeamento da produção dos mesmos. A revisão bibliográfica também aborda uma introdução à simulação, com referência à importância da filosofia *Lean* em ambientes de simulação e uma explicação do funcionamento do *software* Arena®, com explicação dos seus conceitos básicos na modelação e dos relatórios de simulação.

2.1 Sistemas de produção

Para Banks & Gibson, 1997 um sistema de produção pode ser definido como um grupo de objetos com alguma interação e interdependência com o intuito de se alcançar um propósito.

Os sistemas de produção com um elevado desempenho contribuem para o crescimento e competitividade das empresas pelo que a sua conceção é crucial para o sucesso. Contudo, o processo de conceção dos sistemas de produção tem recebido pouca atenção, sendo ignorado o seu potencial. A projeção do sistema de produção significa a conceção e o planeamento dos vários elementos e eventos que constituem o mesmo, juntamente com as regras para as suas relações no tempo e no espaço. Assim, o projeto do sistema de produção é apenas uma parte no processo de desenvolvimento do sistema de produção, incluindo também a construção do mesmo (Bruch & Bellgran, 2013).

A construção de um sistema de produção requer a definição do *layout* através da identificação da disposição na fábrica dos equipamentos, dos espaços de armazenamento, dos corredores de circulação, entre outros elementos. O *layout* pode ser construído de diversas formas, nomeadamente, implantação orientada ao produto (Linha de montagem ou linha de produção) implantação orientado ao processo ou funcional (Oficina), implantação por células ou implantação fixa (Carvalho, 2008).

2.1.1 Implantação orientada ao produto

A implantação orientada ao produto (figura 1) foi criada por Henry Ford e caracteriza-se pela distribuição dos recursos com o objetivo de produzir um determinado produto em grandes quantidades e, conseqüentemente, otimizar o desempenho dessa linha. Este tipo de implantação caracteriza-se pela baixa variedade de produtos, uso de equipamento específico, grandes taxas de produção, elevada utilização dos equipamentos, grande produtividade, baixa flexibilidade, baixo grau de formação dos operadores e pela existência de uma grande automatização dos processos produtivos, da movimentação dos materiais, do carregamento e descarregamentos dos equipamentos (Carvalho, 2008).

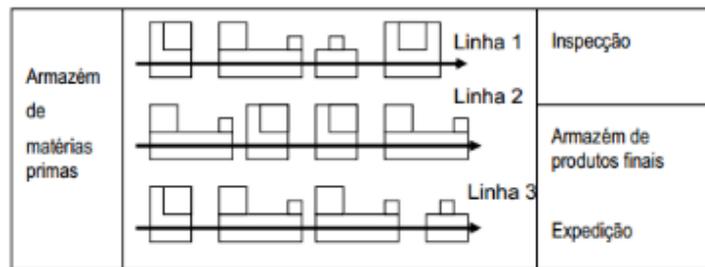


Figura 1: Implantação orientada ao produto
 Fonte: Carvalho, 2008

2.1.2 Implantação orientada ao processo

Na implantação orientada ao processo (figura 2) os equipamentos estão agrupados pelo processo que utilizam e caracteriza-se pelo uso de equipamento genérico e baixa utilização dos mesmos, grande variedade de produtos, baixas taxas de produção, baixa produtividade, elevada flexibilidade, boa formação dos operadores e pelo baixo grau de automatização dos processos, da movimentação dos materiais e do carregamento e descarregamento de equipamentos (Carvalho, 2008).

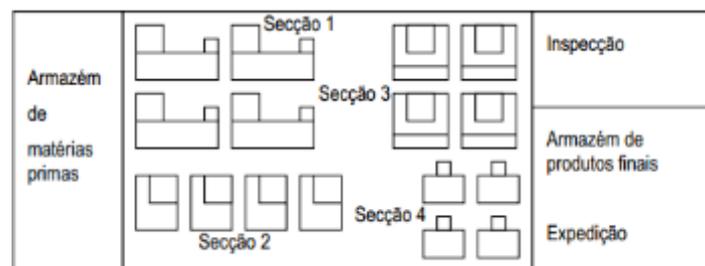


Figura 2: Implantação orientada ao processo
 Fonte: Carvalho, 2008

2.1.3 Implantação por célula

A implantação por célula (figura 3) consiste em agrupar os produtos semelhantes em termos de requisitos tecnológicos e atribuir a cada grupo um conjunto de equipamentos com capacidade de produzir todos os produtos dessa família. Esta implementação tem como objetivo reduzir o volume dos produtos em curso de fabrico, WIP, e reduzir o tempo de percurso dos mesmos. Comparativamente à implantação orientada ao processo, esta implementação traz mais vantagens, nomeadamente, maior facilidade em controlar a produção, menores distâncias percorridas pelos produtos, menores níveis de produtos em fabrico, prazos de entrega mais curtos, maior produtividade. Relativamente à implantação orientada ao produto, a implantação por célula representa mais benefícios pois permite a produção de maior variedade de produtos e aumenta a flexibilidade e rapidez caso existam alterações de produtos (Carvalho, 2008).

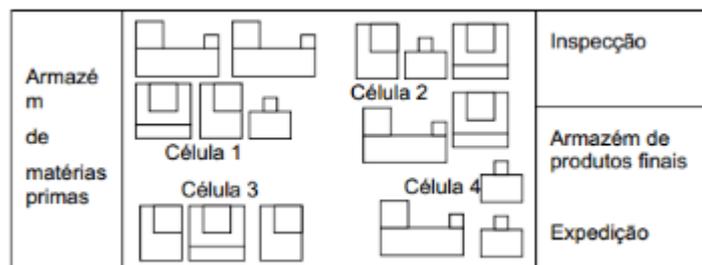


Figura 3: Implantação por célula
Fonte: Carvalho, 2008

2.1.4 Implantação fixa

Ao contrário das anteriores em que os produtos deslocavam-se ao longo do espaço fabril, neste tipo de implantação o produto permanece fixo no mesmo local e os equipamentos deslocam-se até ao mesmo para realizar as operações e a construção de navios é um exemplo. A implantação fixa caracteriza-se pela elevada flexibilidade, baixa utilização dos equipamentos, grande variedade de produtos, baixa taxa de produção, baixa produtividade e boa formação dos operadores (Carvalho, 2008).

2.2 Planeamento dos sistemas de produção

Os sistemas de produção são constituídos por vários elementos, que trabalham em ambientes heterogêneos e que tratam de diferentes processos e produtos em simultâneo, comunicando entre eles de diversas formas. Nestes sistemas a organização e a gestão devem estar presentes de forma a resolver os problemas que surgem no quotidiano e, de forma a resolver esses problemas, surgiu o conceito de planeamento e controlo da produção (PPC). O sistema de planeamento e controlo da produção é composto por diversos subsistemas que são responsáveis pela gestão de várias atividades inerentes à produção, tais como, a gestão de materiais e recursos, planeamento da capacidade e controlo das operações. Este modelo deve apresentar os seus componentes e respetivas funcionalidades, de forma a prever (Lima, Sousa, & Martins, 2006):

- A disponibilidade de quantidades do produto final, por período, ao longo de um horizonte de planeamento;
- Os requisitos de quantidades de materiais para entregar os produtos;
- Os requisitos de capacidade para processar operações de produção;
- Os recursos necessários à produção ao longo do horizonte de planeamento, para satisfazer as necessidades.

O planeamento e controlo da produção (PPC) é uma ferramenta crucial que permite satisfazer as exigências e expectativas do cliente no presente altamente competitivo. As funções típicas de um sistema

de PPC incluem o planeamento de requisitos de materiais, gestão da procura, planeamento da capacidade e, também, a programação e gestão dos postos de trabalho. Estas funções têm como principais objetivos reduzir os prazos de entrega, o tempo em trânsito no sistema, os custos de armazenamento e melhorar a capacidade de resposta às alterações da procura, o *Work in Process* (WIP), ou seja, diminuir a quantidade de produtos que estão em espera ou a ser processados numa determinada operação (Stevenson, Hendry, & Kingsman, 2005).

O planeamento da produção exige que os responsáveis tomem várias decisões quanto aos objetivos que especificam as condições que se pretendam atingir, às ações planeadas como meio de atingir os objetivos, aos recursos que se caracterizam como restrições ao rumo da ação e à implementação de ações planeadas. São várias as vantagens inerentes ao planeamento da produção, tais como (Nunes, 2013):

- Estruturação de esforços através da coordenação do trabalho dos colaboradores;
- Preparação para a mudança;
- Desenvolvimento de gestores, ou seja, o planeamento da produção implica que os gestores sejam pró-ativos e dinâmicos, desenvolvendo a capacidade para pensarem de forma prospetiva;
- Desenvolvimento de padrões de desempenho através de planos que definem os comportamentos esperados. À medida que estes vão sendo implementados, vão sendo definidos os objetivos de cada colaborador da empresa que servirão de bases para os padrões.

Segundo Lima, Sousa, & Martins, 2006, o modelo de planeamento e controlo de produção deve estar de acordo com dois requisitos básicos, ou seja, deve ser capaz de gerir o sistema de produção e fazê-lo por uma ordem de diferentes quantidades de produtos. Para estes autores, estes requisitos só podem ser satisfeitos através da seleção dos recursos disponíveis. A escolha dos recursos tem por base critérios e fatores de decisão que são do encargo dos responsáveis de produção, sendo esta representada na figura 4.

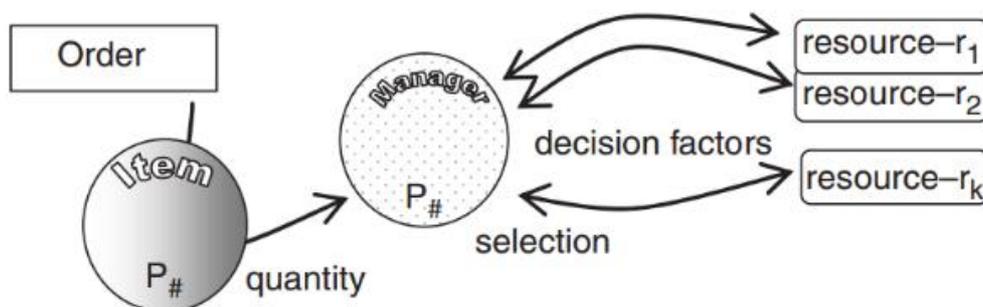


Figura 4: Processo de seleção de recursos
Fonte: Lima, Sousa, & Martins, 2006

O planeamento e controlo da produção tem vindo a evoluir ao longo dos tempos e através da análise da figura 5 é possível verificar esse comportamento. Devido à introdução dos computadores no início da década de 60, foi possível automatizar os sistemas de pontos de reabastecimento. Esta automatização só foi possível através de dados históricos e de modelos de projeção que permitiram a introdução de sistemas de controlo de *stock*. Na década de 70 surgiu o conceito de planeamento das necessidades de materiais (MRP) cuja função consiste em determinar as quantidades de materiais necessárias por período de planeamento e que são dependentes da procura dos produtos. Nos anos 80 verifica-se uma mudança na forma como as operações poderiam ser mais eficientes e eficazes e a atenção dos responsáveis de produção centrou-se na melhoria da qualidade e na redução dos tempos de produção. Na década seguinte verificou-se a agregação do conceito de MRP com o de ERP (*Enterprise Resource Planning*) que consiste no planeamento de recursos através de um sistema de informação que integra todos os departamentos de uma empresa, permitindo o armazenamento de todas as informações. A partir de 2000 as empresas focam-se nas cadeias de abastecimento com o objetivo de aumentar a competitividade (Olhager, 2013).

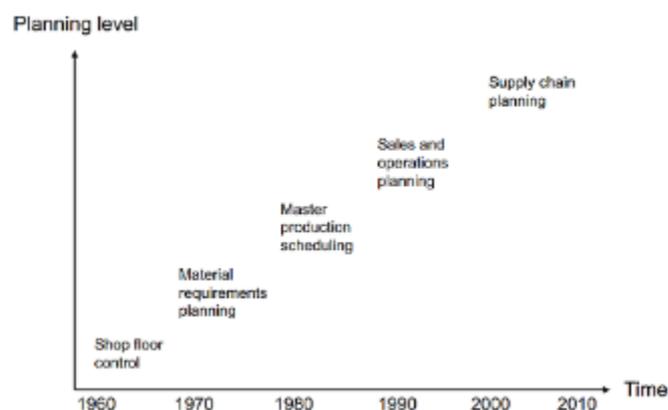


Figura 5: Evolução do nível de planeamento
Fonte: Olhager, 2013

A simulação por computador tem vindo a ser aplicada no planeamento de sistemas complexos e na compreensão de como estes sistemas podem vir a ser controlados eficazmente. Os sistemas complexos são considerados sistemas dinâmicos com numerosos componentes e interconexões, cuja complexidade e incerteza sobre a sua natureza e a heterogeneidade das informações exige uma abordagem complexa no seu estudo. Esta abordagem é constituída por dados sobre o sistema, gestão de conhecimentos, modelação e apoio na tomada de decisões (Bagdasaryan, 2011). O planeamento da produção pode ser dividido em 3 níveis (figura 6), planeamento estratégico, tático e operacional, de acordo com o trabalho desenvolvido pela empresa e com o horizonte temporal das ações implementadas (Nunes, 2013).



Figura 6: Níveis de planeamento da produção

2.2.1 Planeamento estratégico

O planeamento estratégico considera o planeamento a longo prazo e abrange os gestores de topo das organizações, sendo estes responsáveis pela definição dos objetivos e planos da empresa e também pelo processo de tomada de decisões em relação às questões de longo prazo da empresa. O objetivo principal deste nível consiste em posicionar o sistema de produção no seu ambiente económico global tendo em atenção as tendências do mercado. Neste nível de planeamento são tomadas decisões importantes relacionadas com os objetivos a atingir, introdução de novos sistemas de produção e meios de distribuição, reformulação de sistemas produtivos, desenvolvimento de novos produtos e incorporação de novos sistemas de transporte e movimentação (Nunes, 2013).

2.2.2 Planeamento tático

Este nível de planeamento orienta o sistema de produção a médio prazo e tem como objetivo recorrer de uma forma eficiente a todos os recursos disponíveis, de forma a satisfazer a procura e as necessidades tecnológicas. Neste nível de planeamento são tomadas decisões relacionadas com o recurso a horas extraordinárias, a alocação de capacidade associada às famílias de produtos, a constituição de *stocks* sazonais para neutralizar variações de procura e a escolha de opções de transporte (Nunes, 2013).

2.2.3 Planeamento operacional

Num nível inferior encontra-se o planeamento operacional sendo este o responsável por programar as operações de acordo com os recursos do sistema de produção. No planeamento operacional, o horizonte temporal é curto e neste período são tomadas decisões inerentes à sequência e calendarização das operações, definição do tamanho dos lotes e volumes de operação e gestão de *stocks* (Nunes, 2013).

2.3 Introdução à simulação

O uso da simulação como uma ferramenta na otimização dos sistemas de produção é cada vez mais comum pois é mais fácil experimentar melhorias nos modelos de simulação em vez de experimentar no sistema real, não apresenta grandes investimentos. São vários os potenciais benefícios do uso da simulação (Hlupic & Paul, 1996):

- Maior compreensão dos sistemas;
- Redução dos custos operacionais;
- Redução do risco;
- Redução do tempo de espera;
- Alterações de configuração mais eficazes.

A simulação tem sido utilizada na análise de sistemas complexos, nomeadamente, nas áreas de saúde, marketing, cadeias de abastecimento e até mesmo no exército. Particularmente, a simulação tem desempenhado um papel importante na avaliação do desempenho operacional e na configuração dos sistemas de produção (figura 7). São várias as aplicações bem-sucedidas em muitos problemas práticos onde foi provada a eficácia da abordagem da simulação (Negahban & Smith, 2014).

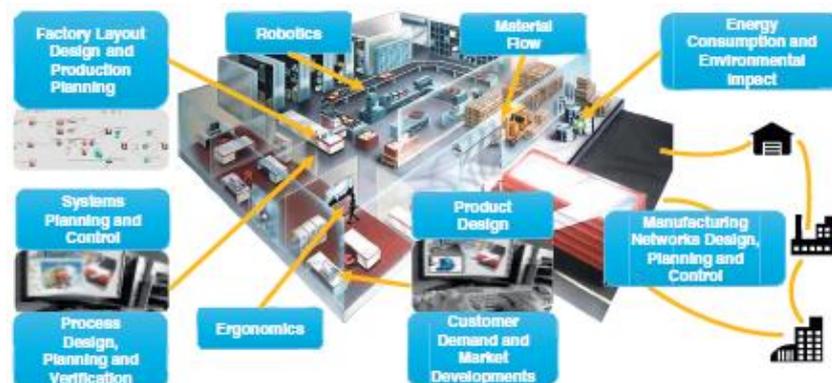


Figura 7: Áreas de aplicação da simulação
Fonte: Mourtzis, Doukas, & Bernidaki, 2014

Durante décadas que a simulação é utilizada como uma ferramenta de suporte nas tomadas de decisão em sistemas de produção. Os sistemas de produção estão sujeitos a grandes alterações estruturais pelo que a criação de um sistema virtual é bastante rápido, sendo possível experimentar diferentes cenários e tomar decisões antes de serem implementadas no sistema real (Seleim, Azab, AlGeddawy, Chrysolouris, & Mourtzis, 2012).

Esta ferramenta é bastante flexível e permite criar modelos de computador de vários tipos de sistemas, contudo, requer alguma habilidade por parte de quem está a modelar. De acordo com Jahangirian,

Eldabi, Naseer, Stergioulas, & Young, 2010, a simulação é utilizada para analisar sistemas e dar apoio na tomada de decisões, sendo utilizada em 3 classes de problemas:

- Problemas com o *layout* onde são incluídas as questões de configuração do sistema, sendo as ferramentas de simulação usadas para avaliar projetos.
- Problemas no planeamento em que se aborda a forma como os sistemas existentes ou propostas serão usados.
- Problemas operacionais relacionados com a utilização efetiva do sistema.

Para estes autores, a maioria dos modelos de simulação são aplicados em problemas relacionados com o *layout* e o planeamento.

A maior preocupação das empresas é melhorar a eficiência dos processos e reduzir os custos. Face a esta preocupação, a simulação tem vindo a ser utilizada para estimar alternativas à configuração do sistema em estudo e também modos de operação possíveis. Uma vez que os sistemas produtivos apresentam uma elevada complexidade e um comportamento dinâmico, seria praticamente impossível avaliar o impacto das alterações pretendidas no sistema atual, ou seja, a simulação permite prever o comportamento dos sistemas sem interferir com o funcionamento normal do mesmo (Hlupic & Paul, 1996).

Ao longo dos anos tem-se verificado um aumento na utilização da simulação o que induziu num aumento no número de *softwares* disponíveis. A maioria dos *softwares* é desenvolvida para a simulação de sistemas produtivos e a escolha do *software* deve ser um processo devidamente cuidado, pois a utilização do mesmo pode resultar numa melhoria significativa na produtividade e reduzir os custos. Por outro lado, uma escolha errada pode resultar na perda de custos e na falha dos objetivos a cumprir (Hlupic & Paul, 1996).

2.3.1 Construção de um modelo de simulação

A construção de um dado modelo de simulação pode ser uma tarefa bastante difícil devido à complexidade dos processos e da quantidade de elementos a incluir no modelo. Estes elementos incluem processos, equipamentos, produtos, operadores, tempos de produção e de *setup*, o que torna difícil a tarefa de compreender completamente o sistema de produção em análise (Chance, Robinson, & Fowler, 1996).

Segundo LAW, MCCOMAS, NELSON, KELTON, & CLARK, 1991, a construção de um modelo de simulação ocorre em 7 etapas (figura 8):

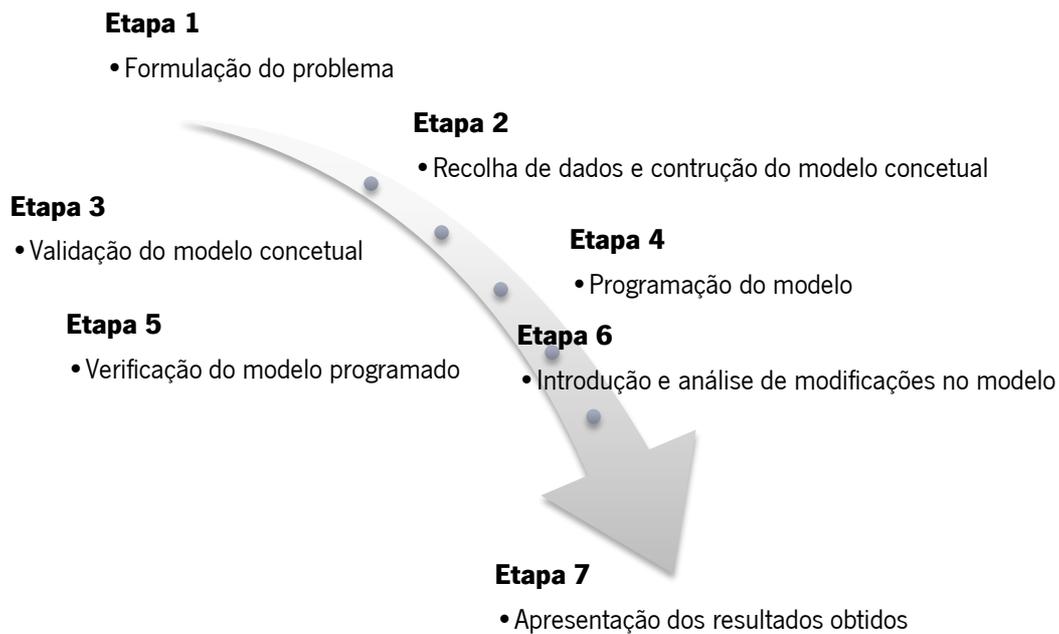


Figura 8: Etapas na construção de um modelo de simulação

Etapa 1: Identificar os objetivos, as questões a serem respondidas, as medidas de desempenho, a configuração do sistema a modelar e os recursos necessários.

Etapa 2: Recolher informações sobre o *layout* e procedimentos operacionais e iniciar a construção do modelo concetual com as informações recolhidas, para depois introduzi-lo no *software* escolhido. Caso existam dados de desempenho já existentes, recolher esses dados para serem usados na validação do modelo na etapa 5.

Etapa 3: Efetuar uma avaliação estruturada do modelo obtido junto dos responsáveis, de forma a eliminar possíveis erros.

Etapa 4: Construir o modelo previamente desenvolvido utilizando um *software* de simulação.

Etapa 5: Se houver um sistema existente, comparar as medidas de desempenho com as medidas do modelo criado. Deve existir uma avaliação dos resultados da simulação por parte dos responsáveis e uma análise de sensibilidade para identificar os fatores que exercem um maior efeito nas medidas de desempenho.

Etapa 6: Face aos resultados obtidos, introduzir modificações no modelo e avaliar o impacto de cada uma.

Etapa 7: Deve incluir o modelo concetual, que é fundamental para futura reutilização do modelo, a descrição detalhada do modelo programado e os resultados obtidos. A apresentação final deve incluir animações e uma discussão sobre a construção do modelo.

Após a construção do modelo, é fundamental que o responsável pelo estudo saiba os parâmetros de entrada, o tempo de simulação, o período de *warm-up* (período de aquecimento) no caso do sistema em estudo ser um sistema estacionário e o número de repetições estatísticas. Depois estas questões estarem devidamente esclarecidas, pode-se dar início à construção do modelo de simulação (Carson, 2005).

2.3.2 Validação e verificação do modelo de simulação

O facto de um modelo de simulação executar e gerar relatórios não garante que esteja correto ou que os valores obtidos nos relatórios sejam representativos do sistema modelado. Sendo assim, após o desenvolvimento do modelo é necessário responder à questão “Será que funciona corretamente?” (Shannon, Medeiros, Watson, Carson, & Manivannan, 1998).

Para Robinson, 2002, a utilização de um modelo de simulação requer que este esteja o mais próximo possível do sistema atual em estudo, pois quaisquer conclusões retiradas do modelo podem estar erradas e irão resultar em decisões que poderão comprometer o funcionamento correto do sistema atual. Na verificação do modelo, este e os seus respetivos resultados têm credibilidade se os responsáveis do sistema em estudo aceitam o modelo como correto. Na verificação, o responsável pelo estudo verifica o modelo de simulação utilizando diversas técnicas, com o objetivo de verificar se o modelo de simulação está de acordo com o sistema atual. Testar diferentes parâmetros, rever todas as saídas do modelo, avaliar as partes mais complexas do modelo e requerer a avaliação por parte de um entendido em simulação revelam-se como algumas das técnicas utilizadas no processo de verificação. Após a verificação, todos os resultados devem fazer sentido e serem aceitáveis (Carson, 2005).

A validação do modelo consiste em determinar se o modelo de simulação corresponde à representação exata do sistema em estudo e é feita junto dos responsáveis pelo mesmo. Para efetuar a validação existem diversas técnicas e segundo Carson, 2005, essas técnicas incluem a utilização da animação ou de outros indicadores visuais que facilitem a deteção de algumas anomalias e a avaliação das medidas de desempenho de modo a determinar a sua razoabilidade. Na possibilidade de existirem dados já recolhidos sobre o sistema atual, comparar estes com os obtidos através do modelo de simulação revela-se como uma técnica que permite validar o mesmo.

De forma a construir um modelo que corresponda à realidade, alguns pareceres devem ser seguidos, nomeadamente (Law et al., 2001):

- Formulação do problema;
- Interação com os responsáveis do sistema em estudo para garantir que o modelo está a ser construído corretamente;

- Realização de análises de sensibilidade para determinar fatores importantes do modelo;
- Comparação do modelo e dos resultados obtidos com um modelo já existente (caso exista);
- Revisão dos resultados e animações do modelo para ver se parecem “razoáveis”.

Existem algumas técnicas para decidir o nível apropriado de detalhe do modelo com vista à sua validação e credibilidade, entre as quais destacam-se (Law et al., 1997):

- No início do estudo devem ser identificadas as questões a serem abordadas e as medidas de desempenho necessárias para avaliar o modelo de simulação;
- Recolher informações junto dos responsáveis sobre o layout do sistema em estudo e os procedimentos operacionais envolvidos;
- Reunir todos os resumos de informação e de dados sobre o processo num documento de pressupostos, tornando-se na principal documentação para criar o modelo;
- Interagir com os responsáveis para se certificar de que o problema está a ser resolvido corretamente e, desta forma, aumentar a credibilidade do modelo;
- Utilizar análises de sensibilidade para determinar fatores importantes do modelo, que devem ser modelados com cuidado;
- Simular o sistema em estudo e comparar as medidas de desempenho do modelo com o sistema atual.

2.3.3 Regras para a recolha de dados

Para a construção do modelo de simulação, é necessário recolher dados sobre o sistema a ser modelado. Os dados podem estar disponíveis em registos históricos ou então serem recolhidos durante um determinado período de tempo (Rozinat, Mans, Song, & van der Aalst, 2009). Durante a recolha de dados, Law et al., 2001 sugerem que este processo deve ter por base dois princípios:

- É necessário que os responsáveis pela recolha de dados saibam que as exigências dos dados, por exemplo, o tipo, o formato, a quantidade ou o motivo porque precisavam, são específicos para as pessoas que fornecem os dados;
- Os responsáveis pela recolha de dados devem entender o processo que produziu os dados, ao contrário de tratar as observações como números apenas abstratos.

2.4 Implementação da filosofia *Lean* em ambientes de simulação

Segundo Oliveira, 2008, a utilização de técnicas de simulação em projetos de implementação de práticas *Lean* contribui para o desenvolvimento de processos mais eficientes, garantindo uma melhor capacidade de resposta aos clientes, tornando as empresas mais competitivas. A filosofia *Lean* é uma ferramenta que permite a resolução de vários problemas que surgem nos sistemas produtivos. No entanto, esta ferramenta apresenta algumas limitações, entre as quais, a avaliação das mudanças pretendidas, validação dos efeitos das mesmas e identificação dos efeitos da interação dessas mudanças entre os diversos componentes do sistema. Na literatura existem diversas aplicações da simulação como uma abordagem na resolução de problemas que as ferramentas *Lean* não conseguiram identificar.

De acordo com Standridge & Marvel, 2006, a simulação revela-se como uma estratégia na implementação de *Lean* uma vez que permite identificar problemas nos processos, preparar as pessoas no sentido de saberem como o processo funciona, classificar e prever o impacto das melhorias e documentar os processos.

Nos sistemas produtivos existem diversos fatores que contribuem para a perda da eficiência dos processos. Esses fatores são denominados por desperdícios e segundo Hicks, 2007, são 7:

1. Sobreprodução: este tipo de desperdício ocorre quando as operações continuam a produzir, quando na realidade já deveriam ter terminado, resultando num excesso de produtos.
2. Esperas: ocorrem quando existem períodos em que não existe nada para produzir, por exemplo, quando um operador está à espera que um outro operador termine uma tarefa e ter o produto disponível.
3. Transporte: corresponde à movimentação de materiais, ou seja, quando um produto é movimentado de uma operação para outra. Este transporte é necessário mas deve ser o mais curto possível, uma vez que corresponde a um tempo que não acrescenta valor ao produto.
4. Sobre processamento: engloba as operações de retrabalho.
5. Inventários: este tipo de desperdício é o resultado de outro desperdício, a sobreprodução. Os inventários tornam-se um desperdício pois requerem um espaço adicional para serem alocados.
6. Movimentações: este desperdício refere-se às movimentações dos funcionários que são causadas por diversos motivos, tais como, o *layout* ineficiente e transporte de produtos com defeito, com retrabalho, com produção em excesso ou de inventário.
7. Defeitos: são originados por produtos que não estão em conformidade com as especificações do cliente.

2.5 Software Arena®

Durante a última década têm-se registado diversos progressos no desenvolvimento de novas tecnologias de simulação e nos *softwares* disponíveis. Os avanços na tecnologia de simulação têm originado uma maior consciência no uso da simulação por parte da indústria, estando estes mais sensibilizados nos potenciais benefícios da utilização da simulação (Guner & Seker, 2008)

No presente projeto de investigação será utilizado o *software* Arena® e para Guner & Seker, 2008, este *software* representa o maior avanço em tecnologia de simulação através da combinação do poder da modelação e na flexibilidade do sistema SIMAN/Cinema. O Arena® oferece um elevado nível de flexibilidade de modelação devido ao vasto domínio de aplicação e também oferece um ambiente de simulação completo que suporta todos os passos básicos num estudo de simulação. O Arena® é uma ferramenta de simulação com uma interface gráfica que permite aos utilizadores a modelação de sistemas complexos utilizando os módulos, blocos e elementos disponíveis (Guner & Seker, 2008). Segundo Dias et al., 2011, de todos os *softwares* existentes no mercado, o Arena® é a ferramenta de simulação mais popular, tal como a figura 9 comprova.

Tool(s)	#19	#20	#21	#22	#23	#45	#46	#47	Price (Swain, 2009 or 2003) K\$	
	WSC	DOCS	SOCIAL	WWW	tot. (WSC docs social WWW)	tot. selected sources	Total Score	Oth		
Arena	15	14	11	17	58	50	9,9	0,5	??	25
Simul8	10	9	10	14	43	49	9,0	1,5		5
WITNESS	11	10	9	14	44	40	8,7			
ProModel (Service	13	9	7	13	42	42	8,6	3,5	20	40
ExtendSim	10	7	3	15	35	39	8,1	1,8	2,5	5
AnyLogic (eXperimental	9	7	4	14	36	38	8,0	6		16
FlexSim	7	6	9	13	35	33	7,8	15	20	65
AutoMod	12	6	4	9	31	34	7,6		24	
Plant Simulation -	5	7	6	11	29	30	7,3	20		30
QUEST; DPM POWERTE	7	8	6	14	35	17	7,0			
Enterprise Dynamics	7	3	4	8	21	31	6,8	3,5		
SIMPROCESS (SIMSCR	8	5	1	8	23	23	6,4	0,8		10
ProcessModel	10	7	6	11	34	6,2	6,3		2,5	
Simio NEW	6	4	6	9	26	14	6,1		10	14
Micro Saint + IPME	7	3	1	10	20	22	6,1	9		
SimCAD Pro	3	2	2	8	15	26	6,0		1	
SLX + Proof 3D + Proof E	9	3	2	7	21	17	5,8	1,8		9
ShowFlow (based on Ta	3	1	1	6	11	21	5,2		1,5	
GPSS World for Windows	5	4	1	7	17	8,9	4,9	4,5		

Figura 9: Ranking de utilização dos *softwares* disponíveis
 Fonte: Dias et al., 2011

Capítulo 2

2.5.1 Conceitos básicos na modelação em Arena®

Blocos de modelação

Os modelos simulados através do Arena® são construídos através de blocos de modelação, nomeadamente os blocos de fluxo e de dados. Os blocos de fluxo são aqueles que são interconectados e originam uma rede de informações e comandos por onde as entidades vão passar. Os blocos de dados são editados através de formulários, sendo a sua função inserir as especificações referentes a cada bloco de fluxo (Rabelo, 2006).

Entidades e Atributos

As entidades representam os objetos que se movem no sistema, tendo estas as suas próprias características que as definem e que são designadas por atributos. Estes atributos servem como “etiquetas” que estão associadas à respetiva entidade e que podem ser usados na altura das tomadas de decisão (Rabelo, 2006).

Filas

As filas representam as entidades que não podem continuar no sistema por algum motivo, por exemplo, utilização de um recurso (Rabelo, 2006).

Recursos

Os recursos são elementos que não se movem no sistema e estão destinados para as entidades. Os recursos possuem uma capacidade finita (podendo variar com o tempo) e estão associados a diversos estados (ocupado, em espera, inativo, etc) (Rabelo, 2006).

Estatísticas (*Statistics*)

As estatísticas referem-se aos dados recolhidos durante a simulação e indicam o tempo e custos referentes a cada entidade, informações associadas às filas e recursos, nomeadamente, tempo de utilização e capacidade ocupada em cada recurso, tempos de espera em filas, entre outros (Rabelo, 2006).

Conjuntos (*Sets*)

Um set surge quando um conjunto de elementos na simulação, embora com características individuais específicas e diferentes entre eles, são procurados de maneira similar (Rabelo, 2006).

Estações (*Stations*)

Estes elementos são utilizados para isolar partes do modelo que posteriormente serão utilizados na animação. Durante a animação, a entidade desloca-se de uma estação para a outra, para que este movimento ocorra, utiliza-se dois tipos de transporte (explicados mais à frente) (Rabelo, 2006).

Armazéns (*Storages*)

Os armazéns têm uma função semelhante às estações, embora não concluam a movimentação das entidades, ou seja, servem para representar, na animação, que a entidade esteve parada em algum ponto do sistema durante algum tempo a sofrer ou não alguma ação (Rabelo, 2006).

Transportadores fixos ou condutores (*Conveyors*)

Estes transportadores são utilizados para movimentar uma entidade de uma estação para outra, não se movimentando em conjunto com as entidades. Este elemento é definido pelos pares de estações ligados e pela distância entre elas. Quando uma entidade pára de movimentar-se, o efeito da paragem sobre as outras entidades em movimento depende do tipo de transportador utilizado. Os transportadores podem ser de dois tipos: transportadores acumulativos (*accumulating conveyors*) ou transportadores não-acumulativos (*non-accumulating conveyors*). Os transportadores acumulativos impedem o avanço das entidades quando estas se aproximam de uma outra entidade que está parada, enquanto que as outras continuam a deslocar-se no sistema. No caso dos transportadores não-acumulativos, a movimentação das entidades é interrompida quando qualquer uma delas pára de movimentar-se (Rabelo, 2006).

Transportadores livres (*Transporters*)

Este tipo de transportadores é um outro tipo de recurso utilizado para levar uma entidade de uma estação para outra, devendo ser definidos através da velocidade e da distância entre as estações. Tal como os recursos, os transportadores podem estar em diversos estados, nomeadamente, em espera quando aguarda o pedido de uma entidade para esta ser movimentada, ocupado quando está a movimentar uma entidade entre estações e inativo devido a uma falha ou paragem para manutenção (Rabelo, 2006).

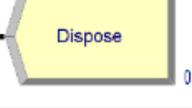
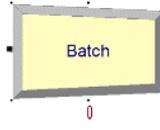
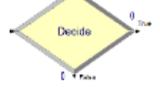
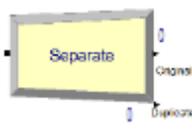
Capítulo 2

2.5.2 Elementos do Arena®

Basic Process

Os blocos básicos correspondem à estrutura principal na construção de um modelo de simulação. Na tabela 1 são explicados cada um dos blocos e respectivas aplicações (Rabelo, 2006).

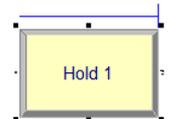
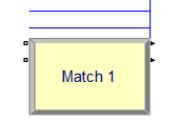
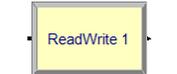
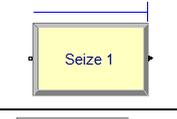
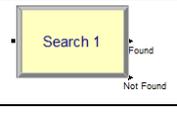
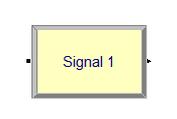
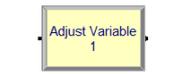
Tabela 1: Explicação dos blocos do *Basic Process*

	<p>É a partir deste bloco que as entidades surgem no sistema sendo introduzidas neste bloco o tipo de entidade e o intervalo de tempo correspondente à chegada das mesmas.</p>
	<p>É utilizado quando uma entidade passa por alguma ação envolvendo um intervalo de tempo e/ou recursos.</p>
	<p>Indica o fim do processo, sendo por este bloco que as entidades desaparecem do sistema.</p>
	<p>Permite alterar o valor referente a algum parâmetro ou variável do modelo.</p>
	<p>Agrupa entidades que posteriormente podem ser separadas ou não através do bloco <i>Separate</i>.</p>
	<p>Permite a modelação de processos com tomadas de decisão no sistema.</p>
	<p>Este bloco pode ter diversas funções: pode ser utilizado para tirar tempos entre as chegadas das entidades, como contador ou para determinar a hora em que foi atribuído um tempo qualquer a uma entidade através do bloco <i>Assign</i>.</p>
	<p>Este bloco desfaz o efeito do bloco <i>Batch</i>, tendo como principais funções separar as entidades de forma a serem processadas individualmente ou duplicar uma entidade. Esta última função é utilizada em situações em que a mesma entidade pode sofrer processamentos diferentes.</p>

Advanced Process

Este *template* (tabela 2) é utilizado na modelação mãos detalhada e permite recolher dados mais específicos, sendo que algumas funções já estão contempladas em blocos do *template Basic Process*, como o *Process* e o *Assign* (Rabelo, 2006).

Tabela 2: Explicação dos blocos do *Advanced Process*

	<p>Atrasa uma entidade numa quantidade de tempo específica.</p>
	<p>Retira um número específico de entidades num grupo e envia-as para outro bloco, de acordo com a conexão gráfica</p>
	<p>Ao entrar neste bloco, a entidade é colocada numa fila onde ocorrem diversas situações, entre as a quais, aguarda um sinal, espera que uma determinada condição se torne verdadeira ou fica parada indefinidamente.</p>
	<p>Sincroniza um número específico de entidades colocando-as à espera umas pelas outras em filas diferentes.</p>
	<p>Retira um número de entidades consecutivas numa dada fila, começando a partir do posto específico da mesma.</p>
	<p>Permite ler dados de um arquivo de entrada e atribuir esses dados a uma lista de variáveis ou atributos.</p>
	<p>Liberta unidades de um recurso do qual a entidade tenha previamente ocupado.</p>
	<p>Retira uma única entidade específica numa fila e envia-a para um bloco indicado.</p>
	<p>Coloca unidades de um ou mais recursos numa entidade.</p>
	<p>Procura em filas, conjuntos ou expressões o posto de uma entidade ou o valor da variável que satisfaça a condição de pesquisa especificada.</p>
	<p>Envia um sinal para todos os blocos do tipo <i>Hold</i> existentes no modelo que estejam configurados em “<i>Wait for Signal</i>”, libertando o maior número de entidades indicado.</p>
	<p>Adiciona uma entidade num local de armazenamento.</p>
	<p>Retira uma entidade de um local de armazenamento.</p>
	<p>Ajusta o valor de uma variável segundo um valor padrão a uma taxa discriminada.</p>

2.6 Relatórios de simulação

Após o modelo de simulação estar devidamente concluído, procede-se à introdução dos parâmetros que são necessários à simulação, nomeadamente, o número e tamanho das replicações, período de aquecimento e a unidade de tempo (figura 10). O tempo de simulação deve ser o suficiente para permitir a saída de todas as entidades que entraram no sistema, como é o caso do sistema em estudo. No entanto, em muitos casos o tempo de simulação deve ser o suficiente para que os resultados consigam ter amostras suficientes para serem estatisticamente significativos.

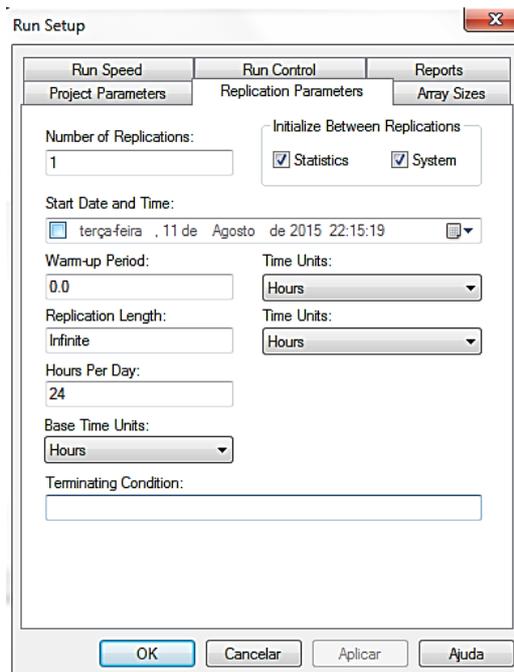


Figura 10: Parâmetros da simulação

Após o tempo de simulação ter ocorrido, geram-se relatórios com os resultados da simulação. Nestes relatórios são vários os parâmetros e medidas de desempenho obtidos que permitem avaliar o comportamento das entidades, recursos, processos e transportadores.

Entidades

- Tempo de valor não acrescentado (*NVA Time*): tempo em que cada entidade esteve em atividades que não acrescentaram valor, por exemplo, tempos em que esteve à espera para ser transportada entre postos de trabalho.
- Tempo de valor acrescentado (*VA Time*): ao contrário do anterior, este parâmetro indica tempo em que a entidade permaneceu em atividades que acrescentaram valor.
- Tempo total (*Total Time*): tempo de permanência das entidades no sistema.

Para Carvalho, 2008, as atividades necessárias para transformar a matéria-prima em produto final podem ser definidas em atividades que acrescentam valor (AV) e atividades que não acrescentam valor (NVA). Este autor refere que a distinção entre estes tipos de atividade é importante na medida em que o tempo gasto em atividades que acrescentam valor representa cerca de 5% do tempo total que as peças permanecem no sistema, ou seja, o tempo restante é utilizado em atividades que não acrescentam valor. O mesmo autor menciona que a maior preocupação das empresas está focada nas atividades que acrescentam valor, porém, os maiores ganhos poderiam ser obtidos caso essa preocupação fosse orientada para melhorar a eficiência das atividades que não acrescentam valor (Carvalho, 2008).

- Outros tempos (*Other Times*): indica o tempo em que as entidades passaram por atividades que não estavam indicadas como de valor acrescentado ou não acrescentado, de espera ou transferência.
- Tempo de transferência (*Transfer Time*): corresponde ao tempo em que as entidades permanecerem em atividades de transferência, por exemplo, quando uma entidade é transferida de um setor para outro através de um transportador.
- Número de entidades que entraram no sistema (*Number In*): soma de todas as entidades de cada tipo que entraram no sistema.
- Número de entidades que saíram do sistema (*Number Out*): soma de todas as entidades de cada tipo que saíram do sistema através.
- Trabalho em desenvolvimento (*WIP*): soma das entidades que permaneceram dentro do sistema em algum processo ou soma das que estavam no sistema aquando do fim da simulação, em processos, filas, movimentações, entre outros.

Recursos:

- Quantidade ocupada (*Number Busy*): média de unidades de um dado recurso que se mantiveram ocupadas ao longo do tempo.
- Taxa de utilização (*Utilization*): relação entre o *Number Busy* e o *Number Scheduled Utilization*, ou seja, é o número médio de recursos utilizados sobre o número médio de recursos disponíveis.
- Número de vezes em que foi usado (*Number Times Seized*): número de vezes que cada recurso foi reservado.

Capítulo 2

Processos:

- Tempo acumulado (*Accumulated Time*): soma referente a cada categoria (valor acrescentado, espera, entre outros do tempo em que cada entidade passou dentro do processo).
- Quantidade que entra (*Number In*): número de entidades que entraram num dado processo.
- Quantidade que sai (*Number Out*): número de entidades que saíram de um processo.

Transportadores:

- Quantidade ocupada (*Number Busy*): média de unidades de um dado transportador que se mantiveram ocupadas ao longo do tempo.
- Taxa de utilização (*Utilization*): relação entre o *Number Busy* e o *Number Scheduled Utilization*, ou seja, é o número médio de transportadores utilizados sobre o número médio de transportadores disponíveis.

Condutores:

- Bloqueado (*Blocked*): tempo em que o condutor esteve ativo e com entidades, embora estas não estivessem a ser movimentadas devido a algum bloqueio causado por uma delas.
- Tamanho acumulado (*Length Accumulated*): tamanho total da fila do condutor quando alguma entidade parou sobre ele.
- Taxa de utilização (*Utilization*): razão entre o tamanho total do condutor e a quantidade de células ocupadas ao longo do tempo de simulação.

3. CELOPLÁS – PLÁSTICOS PARA A INDÚSTRIA, S.A.

Este capítulo apresenta a empresa Celoplás – Plásticos para a Indústria, S.A. onde decorreu o projeto de dissertação, com referência à sua missão e visão, áreas de negócio, atividades da empresa e produtos.

3.1 Apresentação da empresa

A Celoplás – Plásticos para a Indústria, S.A. foi fundada em 1989 e situa-se no concelho de Barcelos, mais precisamente em Grimancelos (figura 11). A sua estrutura é apoiada na experiência adquirida pelos seus fundadores no setor de plásticos da Fábrica Nacional de Relógios Reguladora, S.A. que desde finais dos anos 50 produzia peças plásticas para o fabrico de contadores de água e eletricidade (Celoplás, 2015).



Figura 11: Celoplás - Plásticos Para Indústria, S.A
Fonte: Celoplás, 2015

O avanço tecnológico permitiu encontrar clientes interessados em adquirir peças plásticas de elevada precisão e, conseqüentemente, evolui para uma empresa própria. A empresa está certificada pela ISO 9002 desde 1995, sendo que atualmente está certificada segundo as normas ISO 9001:2008, ISO TS 16949:2009; ISO 14001:2004 e 4457:2007. Ao longo dos tempos, a empresa foi expandindo e adquiriu outras empresas (figura 12), nomeadamente a CCL – Plásticos para a Indústria, Lda., Centi – Support, Máquinas e Equipamentos para a Indústria, Lda., Celoprint – Impressões, Lda e Nanologic – Tecnologias de Micro e Nanomoldação, Lda. (Celoplás, 2015).



Figura 12: Empresas do grupo

3.2 Missão e visão

MISSÃO: “Maximizar valor e benefício, num posicionamento estratégico de excelência no negócio do desenvolvimento de produtos de alta tecnologia, em parceria com os nossos clientes, utilizando materiais poliméricos.”

VISÃO: “Crescer, sustentadamente, otimizando o conhecimento e respondendo às solicitações do negócio no mercado global, tendo sempre presente a perspetiva do cliente, da sociedade, da inovação, da aprendizagem e dos acionistas.

3.3 Áreas de negócio

As peças produzidas na empresa destinam-se essencialmente para as áreas médica e automóvel, sendo os principais clientes representados na figura 13.



Figura 13: Principais clientes
Fonte: Celoplás, 2015

3.4 Atividades da empresa

3.4.1 IDI – Investigação, Desenvolvimento e Inovação

No departamento de Investigação, Desenvolvimento e Inovação (IDI), os projetos são desenvolvidos através de *softwares* CAD/CAM/CAE, após receberem e validarem os pedidos dos clientes.

3.4.2 Fabrico de moldes

A Celoplás possui um setor que se dedica à produção dos moldes utilizados na injeção, seguindo um rigoroso caderno técnico de encargos e utilizam diversas soluções técnicas. Para tal, possuem equipamentos de elevada precisão para os diferentes departamentos de Eletroerosão, Maquinação e Retificação.

3.4.3 Injeção

A empresa possui dois setores destinados para a injeção de termoplásticos e outro para a injeção de termoendurecíveis. Todos os setores possuem controlo de temperatura e humidade, através de sistemas evaporativos, de modo a manter a estabilidade das condições de processamento.

3.4.4 Montagem

A Celoplás possui capacidade interna para desenvolver e conceber equipamentos, bem como processos integrados de montagem, depois de validado todo o processo na Celoplás, a atividade transita para o setor de montagem existente na Celoprint.

3.4.5 Impressões

A empresa possui capacidade interna para desenvolver e conceber processos de impressão. Depois de validado todo o processo na Celoplás, esta atividade transita para o setor de impressão existente na Celoprint.

3.5 Produtos

A Celoplás produz produtos termoplásticos (figura 14), termoendurecíveis (figura 15) e silicones (figura 16) sendo estes destinados essencialmente para as áreas médicas e automóvel.

Capítulo 3



Figura 14: Exemplos de produtos termoplásticos
Fonte: Celoplás, 2015



Figura 15: Exemplos de produtos termoendurecíveis
Fonte: Celoplás, 2015



Figura 16: Exemplos de produtos em silicone
Fonte: Celoplás, 2015

4. OS MOLDES NA INDÚSTRIA DOS PLÁSTICOS

Neste capítulo será abordada a situação atual da Indústria Portuguesa de Produção de Moldes, bem como a constituição de um moldes e a descrição dos vários processos observados no setor de produção em estudo.

4.1 Situação atual da Indústria Portuguesa de Produção de Moldes

A CEFAMOL é uma instituição sem fins lucrativos e de serviço público, fundada em 1969 por iniciativa de sete empresas fabricantes de moldes para a indústria de plásticos e tem como objetivo o desenvolvimento e expansão do setor de moldes, a cooperação e investigação tecnológica e a formação técnico-profissional de todos que se dedicam a esta atividade

Segundo a CEFAMOL, 2015, devido à procura e à relação qualidade/preço/prazos de entrega, a indústria portuguesa de moldes tem vindo a expandir e a marcar a sua posição no mercado externo. Neste momento, este setor possui cerca de 450 empresas que se dedicam ao fabrico de moldes e ferramentas especiais, sendo que a área automóvel é o principal cliente das empresas fabricantes de moldes (figura 17).

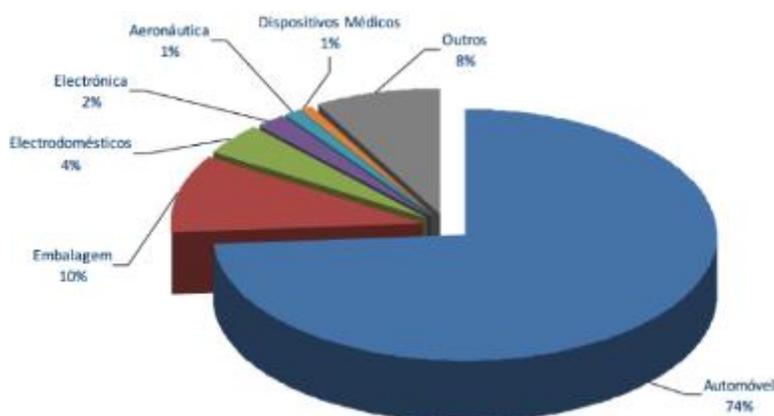


Figura 17: Principais clientes dos fabricantes de moldes
Fonte: CEFAMOL, 2015

Relativamente à produção de moldes para a indústria dos plásticos, Portugal é um dos maiores fabricantes mundiais e exporta aproximadamente 90% da produção total. Tal facto deve-se à elevada capacidade de adaptação às carências dos clientes e à evolução dos mercados e das tecnologias que Portugal tem vindo a mostrar. No ano de 2014 os principais destinos das exportações foram a França, a Espanha e a Alemanha (figura 18).

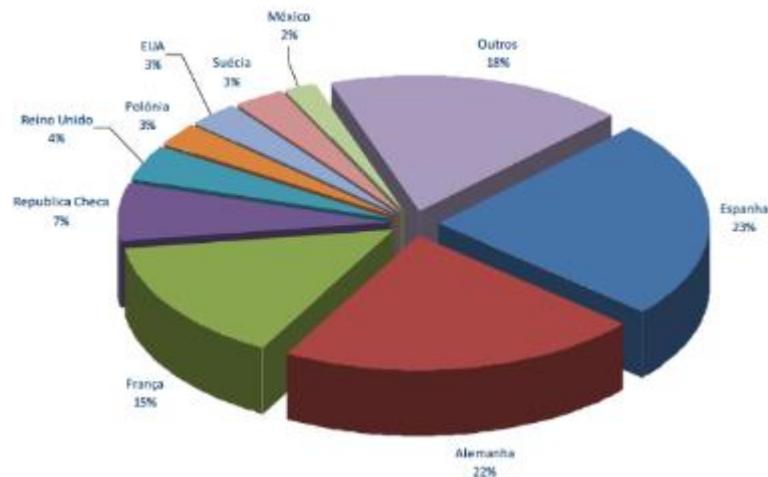


Figura 18: Principais destinos dos moldes produzidos em Portugal
Fonte: CEFAMOL, 2015

4.2 Constituição dos moldes

Os moldes para injeção de plástico são ferramentas que permitem obter diversos produtos de diferentes formas, podendo ser considerados como equipamentos que variam em termos de complexidade, tipo ou tamanho. Em consequência dos avanços tecnológicos e da complexidade das peças produzidas, atualmente os moldes podem ser equipamentos de elevado grau de complexidade e, por vezes, com um custo superior ao da máquina de injeção (Brito, 2000).

A dimensão, a complexidade das peças a produzir e os aspetos económicos e tecnológicos definem o grau de sofisticação e o tipo de molde a produzir. Sendo assim, projetar um molde é uma tarefa complexa visto que deve cumprir diversos aspetos, nomeadamente (Brito, 2000):

- Deve produzir peças com qualidade num tempo de ciclo mais curto possível;
- Possuir o mínimo de manutenção durante o tempo de serviço;
- Deve definir um ou mais volumes com a forma das peças a produzir, assegurando a reprodutibilidade de ciclo para ciclo;
- Permitir o enchimento das impressões com o fundido;
- Facilitar o arrefecimento do material injetado;
- Permitir a extração das peças.

O projeto de um molde deverá conter (Brito, 2000):

- Desenho do molde montado, mostrando claramente as suas funções principais, as dimensões globais, quaisquer características não usuais e a relação do molde com a máquina em que será fixado;
- Desenhos detalhados de todas as peças do molde não normalizadas e que seja necessário serem fabricadas;

- Legenda descritiva de todas as peças normalizadas ou não que compõem o molde com número de referência, quantidade, descrição, material utilizado, tratamento térmico e dureza requerida;
- Notas sobre material ou materiais a moldar, índice de contração (indicado pelo cliente), máquina ou máquinas onde o molde trabalhará, chamadas de atenção para aspetos de construção não usuais, que possam conduzir a erros, entre outros;
- Esquemas dos circuitos elétricos existentes no molde.

Para Brito, 2000, a constituição dos moldes é determinada pela necessidade de realizar adequadamente as funções associadas à execução do ciclo de moldação. Para ser possível desempenhar estas funções, um molde é uma estrutura onde são montados os sistemas funcionais que permitem a execução do ciclo de moldação (figura 19).



Figura 19: Sistemas funcionais de um molde
Fonte: Brito, 2000

Segundo este autor, das várias classificações que se poderiam fazer dos moldes em função da constituição dos mesmos, a mais utilizada está relacionada com o seu sistema de alimentação. Desta forma, os moldes de injeção podem classificar-se em três tipos principais, englobando cada qual dois subtipos (figura 20). Os moldes referidos são utilizados para a injeção de termoplásticos que, segundo Callister, 2007, caracterizam-se como sendo polímeros lineares em que alguns possuem estruturas ramificadas com cadeias flexíveis. A nível molecular, as forças de ligação secundárias diminuem com o aumento da temperatura pelo que o movimento das cadeias é facilitado quando é aplicada uma tensão. Este movimento das cadeias provoca uma degradação irreversível na estrutura do termoplástico.

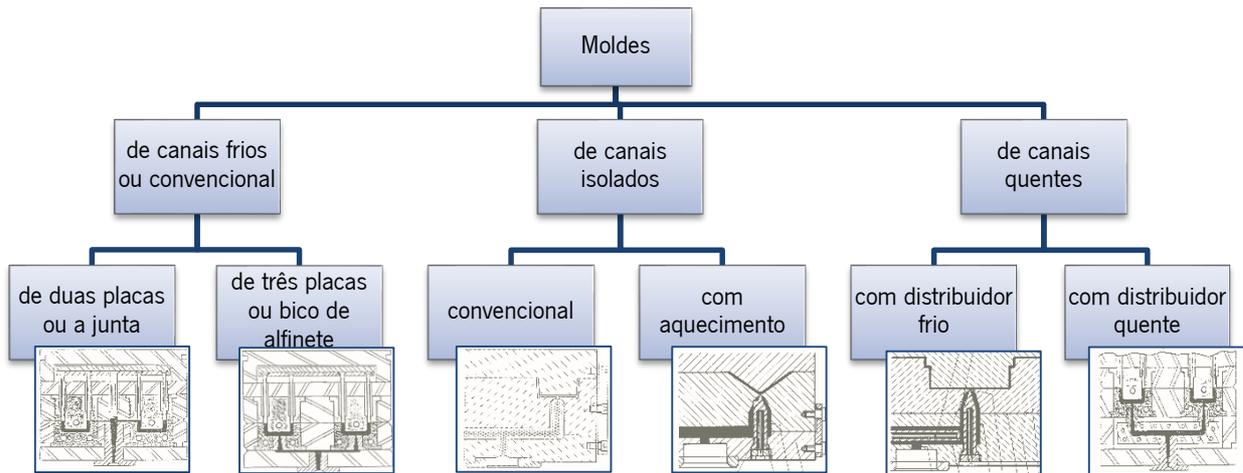
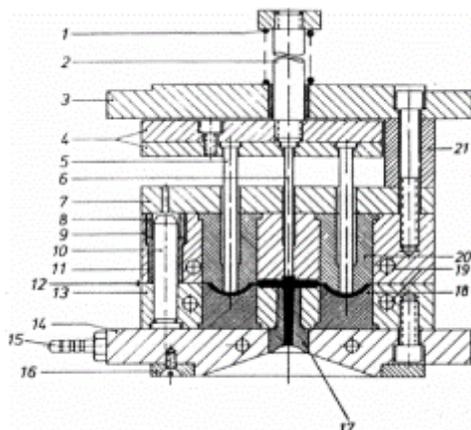


Figura 20: Classificação dos moldes quanto ao tipo de sistema de alimentação

O molde na sua forma mais simplificada é constituído por duas metades que se ajustam, definindo a configuração da peça que se pretende obter. A estrutura de um molde de duas placas é constituída por uma parte fixa (ou lado da injeção) e uma parte móvel (ou lado da extração). A parte fixa é constituída pela chapa de aperto da injeção e chapa das cavidades e é por este lado que se efetua a injeção do material polimérico. Quanto à parte móvel, esta é formada pela chapa das buchas, chapa reforço das buchas, calços e chapa de aperto da extração, sendo esta a parte responsável pela extração das peças. Na chapa das cavidades é maquinada a cavidade (parte fêmea do molde) que define a forma exterior da peça e na chapa das buchas é maquinada a bucha (parte macho do molde) que define a forma interior da peça. Tanto na chapa das cavidades como na chapa das buchas pode ser acoplado um postigo da injeção e da extração em cada uma, respetivamente. Os postigos da injeção e da extração representam a parte do molde que recebe o material polimérico e lhe confere a forma pretendida. A constituição do molde representada na figura 21 compreende apenas as peças que são fundamentais em todos os moldes, embora sejam constituídos por outras peças que não estão representadas, como por exemplo, postigos, anéis, extratores, chapa dos extratores, chapa de aperto dos extratores, entre outros.



1. Mola de compressão
2. Extrator
3. Chapa da extração
4. Chapa dos extratores e chapa de aperto dos extratores
5. Pino extrator
6. Extrator do canal de vazamento
7. Prato de suporte
8. Casquilho
9. Prato de retenção das cavidades
10. Guia
11. Casquilho
12. Linha de partição
13. Prato de retenção da cavidade
14. Chapa da injeção
15. Bocal para o sistema de arrefecimento
16. Anel de centragem
17. Canal de vazamento
18. Chapa da cavidade
19. Linha de arrefecimento
20. Chapa da bucha
21. Calços

Figura 21: Constituição de um molde de duas placas
 Fonte: Menges, Michaeli, & Mohren, 2000

4.3 Fases de execução de um molde na indústria dos plásticos

Na serralharia em estudo existem diversos setores onde se processam as várias operações necessárias para a construção de um molde, com exceção do tratamento térmico que não é realizada na empresa, nomeadamente, os setores de projeto, corte, maquinaria, retificação, eletroerosão e banca.

Segundo Ferreira, 2001, o funcionamento de uma empresa produtora de moldes pode ser simplificado em 3 etapas. Na primeira etapa a empresa recebe a informação do produto pretendido e com base na informação recebida, esta identifica os requisitos específicos do molde em termos técnicos e de prazos. Nesta etapa é enviada a proposta ao cliente, sendo que esta deve conter o projeto preliminar e o orçamento do molde. Após a aprovação do cliente, inicia-se a segunda etapa que corresponde ao desenvolvimento do projeto definitivo do molde. Simultaneamente é emitida a lista de materiais (Anexo I) utilizada na encomenda de aços, caso seja necessário, para posterior maquinagem. A última etapa é a mais demorada e corresponde ao fabrico do molde. Após o molde estar concluído, efetua-se a verificação final através de um ensaio numa máquina de injeção em condições idênticas às de funcionamento normal. As peças obtidas no ensaio são verificadas de forma a identificar potenciais correções do molde e são enviadas para o cliente para aprovação ou introdução de alterações no molde.

Capítulo 4

4.3.1 Projeto

Após a recepção do pedido do cliente, a equipa de projeto desenha os protótipos dos moldes no *software* Creo. Nesta fase o rigor e o detalhe são importantes pois é esta a fase que determina as medidas exatas dos moldes e respetivos componentes. Caso exista alguma falha durante a fase de projeto, todas as fases seguintes estarão comprometidas. Após os desenhos estarem concluídos, estes são sujeitos a uma aprovação. Nesta fase ainda se verifica se existe material em *stock* para as peças, caso seja necessário encomendar, procede-se à encomenda dos mesmos.

4.3.2 Corte

Quando os desenhos estão devidamente aprovados e a respetiva lista de materiais utilizados (Anexo I), procede-se ao corte das peças tendo em atenção as medidas indicadas nos desenhos. Todos os aços destinados para a estrutura do molde (placas e chapas) já se encontram nas dimensões pretendidas. No caso de serem destinados para elementos moldantes e acessórios, estes já sofrem o processo de corte. O processo de corte é feito através de uma serra de corte mecânica em que o operador coloca o aço a ser cortado na serra e esta corta o aço sem ser necessária a presença do operador. Nesta fase existem diversas variáveis que influenciam o tempo da operação, nomeadamente, o tipo de material, a secção de corte e o estado em que a serra de corte se encontra.

4.3.3 Maquinação: torneamento e fresagem

O torneamento é uma das operações mais utilizadas na indústria metalomecânica pois permite executar diversas operações e produzir peças de diferentes forma e com uma grande variedade de detalhes (figura 22). No torneamento ocorre a retirada progressiva de material através de uma ferramenta de corte cuja eficiência do processo depende do material de que são constituídas as ferramentas e da forma do gume, que deverá ter uma dureza superior à do material a ser torneado. Neste processo a peça gira em torno de um eixo fixo permitindo trabalhar peças cilíndricas movidas por um movimento uniforme de rotação. Nesta operação são necessários 3 movimentos entre a peça e a ferramenta: movimento de corte, de avanço e de penetração. A figura 23 representa um torno mecânico, também podendo ser designado como torno paralelo ou universal. A árvore principal possui um movimento de rotação contínuo que se transfere para a peça sendo esta submetida à ação de uma ou várias ferramentas. Esta árvore deve ser capaz de girar com velocidades periféricas em função das peças a ser torneadas, do tipo de acabamentos, do tipo de material, entre outros (Chiaverini, 1986).

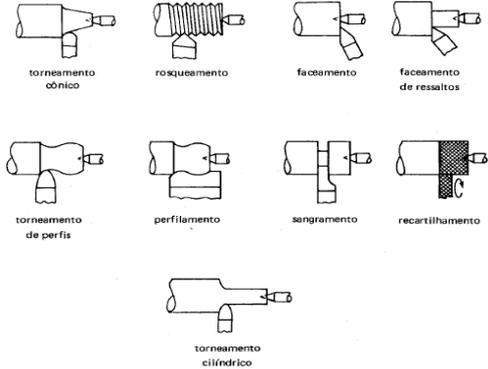


Figura 22: Operações de torneamento
Fonte: Chiaverini, 1986

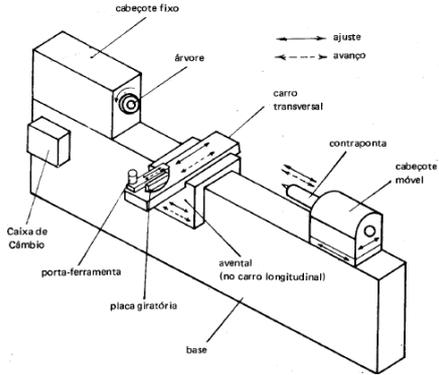


Figura 23: Componentes de um torno e respectivos movimentos
Fonte: Chiaverini, 1986

A fresagem consiste em retirar metal (aparas) da superfície de uma peça para lhe dar forma e acabamento desejados através da combinação de dois movimentos simultâneos: um movimento de rotação da fresa (ferramenta) que possui várias superfícies de corte e outro da mesa da fresadora, onde a peça está fixada. O tempo de execução deste processo depende da área a maquinar e da quantidade de peças. O movimento associado à operação de fresagem pode ser horizontal (figura 24) ou vertical (figura 25) (Chiaverini, 1986).

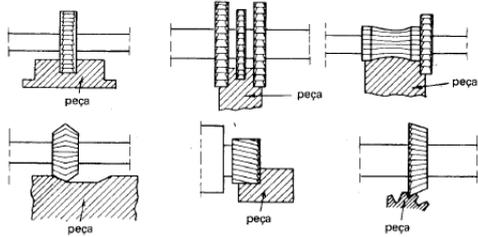


Figura 24: Fresagem horizontal
Fonte: Chiaverini, 1986

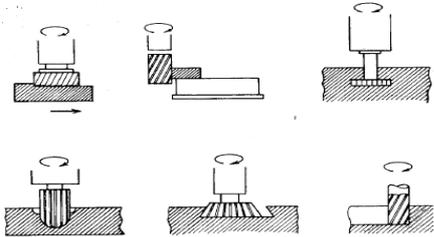


Figura 25: Fresagem vertical
Fonte: Chiaverini, 1986

Após a recepção dos desenhos das peças que constituem o molde e dos elétrodos utilizados no processo de eletroerosão penetração, o operador verifica a geometria a executar nas peças. Primeiro coloca as peças dentro das fresadoras automatizadas e, de seguida, centra e alinha as mesmas. O tempo desta

Capítulo 4

etapa depende do tamanho e quantidade das peças/elérodos a maquinar. Após estes estarem alinhados e centrados, o operador prepara o programa, com recurso a um computador, para a primeira geometria a executar e, depois, introduz o programa anterior na fresadora. Após a geometria estar completamente maquinada, a fresadora termina a tarefa e aguarda que o operador introduza uma nova ferramenta e um novo programa para maquinar uma nova geometria, sendo que este programa foi previamente executado num computador. Desta forma, é possível afirmar que esta tarefa apresenta elevados tempos de *setup*. Ao contrário da maquinação dos constituintes do molde em que o operador prepara um programa para cada maquinação, no caso da maquinação de eléctrodos, o fresador prepara um programa que engloba a maquinação das várias geometrias e a fresadora só para quando todas as maquinações estejam terminadas. Durante o percurso de produção, existem peças que voltam novamente à fase de maquinação para executar a fresagem de acabamento, nomeadamente os postigos principais e as chapas da bucha e da cavidade.

4.3.4 Tratamento térmico

Uma vez que os constituintes dos moldes vão estar sujeitos a grandes temperaturas e pressões durante a fase de injeção, realiza-se um tratamento térmico dos aços, nomeadamente a têmpera, com o objetivo de provocar o endurecimento dos aços. Este tratamento caracteriza-se como sendo um processo térmico dividido em várias etapas (aquecimento, estágio e arrefecimento) que tem como objetivo alterar a estrutura dos aços, de forma a melhorar as suas características mecânicas, embora sem haver alteração da sua composição. Após a têmpera, as modificações estruturais levam ao aumento da dureza, da resistência ao desgaste e à tração e as propriedades relacionadas com a ductilidade sofrem uma notável diminuição (Chiaverini, 1986).

A empresa não possui equipamentos para a realização da têmpera, tendo optado por contratar uma empresa externa para a realização da mesma. Esta fase só pode ser realizada após a maquinação e o torneamento, pois o endurecimento dos aços provocado pela têmpera iria aumentar o tempo despendido nestas fases ou poderia tornar impossível a execução de certas geometrias. Além da têmpera, em algumas peças procede-se a outros tratamentos superficiais, nomeadamente o PVD e nitruração.

4.3.5 Retificação

A retificação é um processo que, através da abrasão, corrige irregularidades da superfície de uma peça, reduz rugosidades, concede exatidão das medidas pretendidas e retifica peças que apresentem deformações resultantes dos tratamentos térmicos. Os equipamentos utilizados são as retificadoras que possuem discos denominados de rebolos. Os rebolos são sólidos de revolução em torno de um eixo da

retificadora e podem assumir diversas formas e dimensões, tendo em conta o serviço pretendido (figura 26). No mercado existem diversos tipos de rebolos que se distinguem através da natureza do material abrasivo, tipo de grão, dureza, entre outros fatores. Em função da aplicação do reboło nas peças, a retificação pode ser plana ou cilíndrica (Chiaverini, 1986).

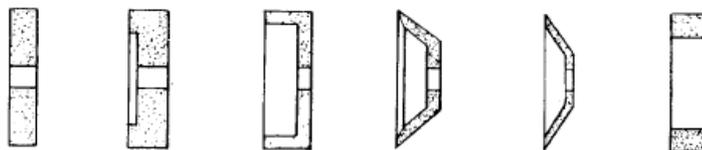


Figura 26: Alguns tipos de rebolos
Fonte: Chiaverini, 1986

A retificação plana (figura 27) consiste em fixar as peças numa base (onde existe uma placa magnética que permite segurar as peças) sobre a qual corre a mesa dotada de um movimento longitudinal. O reboło possui um movimento de rotação e pode ser movimentado para cima e para baixo (Chiaverini, 1986).

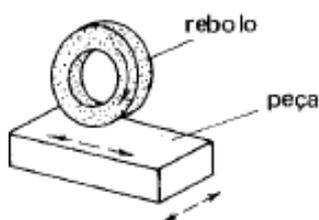


Figura 27: Retificação plana
Fonte: Chiaverini, 1986

Na retificação plana, o operador prepara as peças, começando por passar uma pedra nas superfícies a serem retificadas e depois limpam as mesmas com um pano. De forma a certificarem que não existe nenhum vestígio de tecido na base da peça que depois possa fazer com que esta não assente bem no prato da retificadora, o operador ainda limpa com o auxílio das mãos.

Nas peças que são sujeitas a tratamento térmico e as placas da estrutura e de aperto, estas são sempre assente em calços quando é retificado o primeiro lado visto que existem empenos ou deformações. Quando for para retificar o outro lado, os calços já são retirados pois um dos lados da peça já está retificado e sem empenos, assentando devidamente no prato da retificadora.

A retificação cilíndrica consiste em retificar peças que têm geometrias circulares e pode ser utilizada para retificar o exterior (figura 28) ou o interior das peças (figura 29). As retificadoras cilíndricas possuem uma mesa que desliza longitudinalmente através de um comando hidráulico, um cabeçote onde são fixadas as peças um reboło fixo num suporte que, mediante ação hidráulica, aproxima-se ou afasta-se das peças (Chiaverini, 1986).

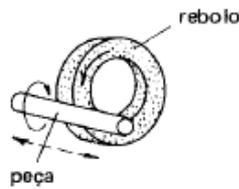


Figura 28: Retificação cilíndrica externa
Fonte: Chiaverini, 1986

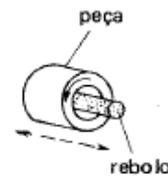


Figura 29: Retificação cilíndrica interna
Fonte: Chiaverini, 1986

Quanto às peças que são compradas, quando estas chegam à empresa, o retificador tem de ajustar o comprimento e diâmetro pretendidos. Primeiro cortam a peça com o comprimento pretendido num equipamento de corte sendo que para esta operação existem dois equipamentos disponíveis e a escolha do mesmo depende se o comprimento inicial da peça é superior ou inferior a 60 mm. Depois procedem à retificação do diâmetro cuja operação é feita das retificadoras cilíndricas disponíveis.

Na retificação existem cinco retificadoras planas e duas retificadoras cilíndricas e o tempo de execução desta operação está relacionado com o volume de material a retificar e o número de peças e respetiva geometria.

4.3.6 Eletroerosão: eletroerosão fio e eletroerosão penetração

Dependendo da geometria pretendida para os diversos constituintes do molde, existem algumas estruturas que não são possíveis de obter na fase de maquinagem. Face a isto, a eletroerosão revela-se como uma técnica fundamental em geometrias mais complexas. Esta técnica baseia-se na remoção de material da peça devido a uma série de descargas elétricas, em meio elétrico, geradas entre 2 polos: o eletrodo e a peça a ser maquinada, sendo estas caracterizadas por ânodo e cátodo, respetivamente (Ho & Newman, 2003). Nesta fase, dependendo do desenho pretendido para a cavidade do molde, podem realizar-se 2 operações: eletroerosão fio e eletroerosão penetração.

A eletroerosão fio é utilizada em geometrias passantes, ou seja, para cortar placas e fazer punções e caracteriza-se por introduzir um filamento na peça de trabalho que está submersa num tanque dielétrico. O fio constituído por latão revestido é tracionado entre as guias, sendo que estas guias movem-se segundo os eixos do equipamento previamente definidos pelo operador. A utilização de diferentes eixos permite cortar perfis extremamente delicados e que não eram possíveis de obter na maquinagem. O tempo desta operação está relacionado com o perímetro que o fio irá cortar e também com o tempo de *setup*, sendo que este depende da quantidade e tamanho das peças a colocar no equipamento.

A eletroerosão de penetração, ao contrário de utilizar um fio, recorre a um eletrodo, constituído por cobre eletrolítico, ligas de cobre ou grafite previamente maquinado e consiste em criar um negativo da estrutura a “imprimir” na peça. Para realizar esta operação, o operador deve centrar todos os eletrodos, centrar e

alinhar todas as peças e realizar uma simulação para verificar a existência de alguma falha durante a centragem e alinhamento das peças/elérodos, sendo que o tempo de *setup* está diretamente influenciado pelo número de eléctrodos, tamanho e número peças a erodir.

4.3.7 Banca

No setor de banca ocorrem diversas operações, nomeadamente, roscagem, furação e gravação laser das peças, polimentos, afinações, receção de material comprado, receção e envio de material para tratamento térmico e montagem.

A furação consiste em abrir ou alargar furos nas peças e que variam desde poucos milímetros ate vários centímetros de profundidade. Recorrendo a brocas destinadas para o efeito, a furação também é utilizada na roscagem das peças, que consiste na abertura de furos onde posteriormente serão colocados os acessórios e dentro dos furos são desenhadas as linhas que vão permitir a roscagem dos mesmos (Chiaverini, 1986). Além da roscagem, existem diversos tipos de furação utilizando diferentes brocas, sendo estes representados na figura 30. A broca possui um movimento giratório contínuo e retilíneo de avanço segundo o eixo de perfuração e, através dos seus gumes cortantes, arranca material da peça.

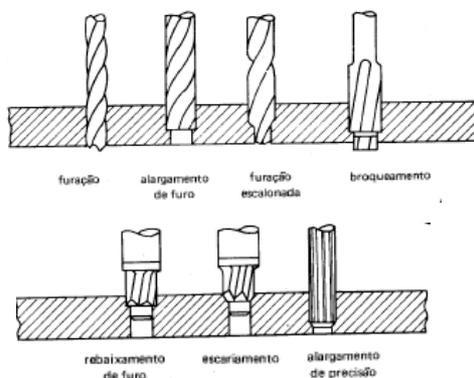


Figura 30: Tipos de furação
Fonte: Chiaverini, 1986

As fases descritas anteriormente irão definir as *stations* utilizadas no modelo de simulação, tal como será referido no capítulo seguinte.

5. MODELAÇÃO DO SISTEMA PRODUTIVO

A modelação do sistema observado necessitou a recolha de dados que, posteriormente, foram introduzidos no *software* escolhido. Após a construção, validação e verificação do modelo de simulação, este foi analisado em função da situação atual, seguindo-se a análise das propostas com vista a melhoria do sistema.

5.1 Recolha de dados

O modelo de simulação construído teve como objetivo simular a produção de moldes, sendo que durante o processo de recolha de dados foram selecionados os moldes que seriam alvo de estudo (tabela 3). O acompanhamento da produção dos moldes incluiu o registo de todos os componentes que constituem os mesmos e, posteriormente, o registo dos tempos de produção desses componentes. Sendo assim, foram acompanhados 59, 22, 38 e 59 entidades (cada entidade corresponde a um conjunto de peças com a mesma referência), com n quantidades cada uma e que pertenciam aos moldes atribuídos: moldes 1, 2, 3 e 4, respetivamente. Neste acompanhamento também foi registado o percurso dos elétrodos de cada molde que, posteriormente, foram utilizados no processo de eletroerosão penetração de algumas entidades.

Tabela 3: Número de entidades referentes a cada molde e respetivas quantidades totais

Molde	Entidades	Quantidade total de entidades
Molde 1	59	467
Molde 2	22	132
Molde 3	38	125
Molde 4	59	294

A construção do modelo de simulação requer a recolha de dados, sendo que esta decorreu entre o período de 9 de Janeiro de 2015 e 11 de Maio de 2015 e foi realizada através da observação junto dos operadores. Inicialmente foram recolhidas todas as informações sobre os equipamentos, o *layout* da serralharia (Anexo II), os operadores e respetivos horários (tabela 4). Através da recolha de dados foi possível determinar as várias sequências que uma dada peça pode percorrer no sistema produtivo (Anexo III), saber quais os recursos disponíveis para executar uma determinada tarefa, identificar possíveis

desperdícios e erros que afetam o sistema e os fatores que interferem nos tempos de produção e de *setup*.

Tabela 4: Recursos disponíveis em cada operação e respectivos horários dos operadores

Processo	Recursos	Operadores	Horário dos operadores
Corte	Serra de corte	Operador de corte e torneamento	8h – 13:30h
Torneamento	Torno		14:30h – 17h
Maquinação	Fresadora de acabamento de posições temperados e fresagem de acabamento	Fresador 4	8:30h – 12:30h
	Fresadora de desbaste e acabamento de placas moldantes		13:30h – 17:30h
	Fresadora de pré- maquinação de posições e placas de aperto	Fresador 1	6h – 12h
		Fresador 2	12:30h – 14:30h
	Fresadora para maquinação de elétrodos	Fresador 3	14h – 19h
Fresadora para maquinação de elétrodos e acessórios	19:30h – 22:30h		
Eletroerosão fio	3 equipamentos de erosão fio	Operador de eletroerosão fio	8:30h – 13h 14h – 17.30h
Eletroerosão penetração	5 equipamentos de erosão penetração	Operador de eletroerosão penetração 1	6h – 12h 12:30h – 14:30h
		Operador de eletroerosão penetração 2	14h – 19h 19:30h – 22:30h
		Operador de eletroerosão penetração 3	14h – 19h 19:30h – 22:30h
Retificação	5 retificadoras planas 3 retificadoras cilíndricas 1 equipamento de corte	Retificador 1	6h – 12h 12:30h – 14:30h
		Retificador 2	8h – 13h 14h – 17h
		Retificador 3	14h – 19h 19:30h – 22:30h
		Retificador 4	8h – 12:30h 13:30h – 17h
Banca	2 equipamentos de furação 1 equipamento de roscagem	Operador de banca 1	14h – 19h 19:30h – 22:30h
		Operador de banca 2	8h – 12h 13h – 17h
		Operador de banca 3	6h – 12h 12:30h – 14:30h
		Operador de banca 4	8:30h – 13:30h 13:30h – 17:30h
Furação rápida	1 equipamento de furação rápida	Operador de corte e torneamento	8h – 13:30h 14:30h – 17h
		Operador de eletroerosão fio	8:30h – 13h 14h – 17.30h
		Operador de eletroerosão penetração 3	14h – 19h 19:30h – 22:30h

Durante o registo de tempos foram anotados os recursos disponíveis onde os processos poderiam ocorrer, o que foi feito nas peças e registados separadamente os tempos que correspondiam a tempos de *setup* e a tempos de produção. Com recurso ao Excel, foi anotado o percurso que cada peça percorreu individualmente no sistema em atividades que acrescentaram valor bem como o tempo de produção e

de *setup* em cada operação até ao momento em que segue para outras atividades de valor juntamente com outras peças (figura 31).

Descrição	Quant.	Material	Corte			Torneamento		Banca		Retificação				
			Secção de corte (mm2)	Tempo (min)	Tempo prep. (min)	Tempo total (min)	Tempo por peça (min)	Tempo total (min)	O que foi feito	Tempo total (min)	O que foi feito	Tempo (min)	Tempo prep. (min)	Tempo total (min)
Peça A	4	1.1191	706.9	4	2	24	20	80	Fazer rosca	5	Retificar um lado	20	10	60
Peça B	6	1.1191	706.9	4	2	36	15	90			Retificar outro lado	20	10	90
Peça C	8	1.2767	490.9	4	2	48	30	240	Fazer rosca	10	Retificar espessura	60	15	392
											Retificar 1 centésimo	80	10	210
											Retificar diametro	34	15	
											Retificar um lado	120	20	
											Retificar outro lado	50	20	

Figura 31: Introdução do registo de dados no Excel

5.2 Construção do modelo

Para a construção do modelo foram excluídas as reparações das peças quando estas não estavam em conformidade ou quando eram feitas novamente pelo facto de terem ficado inutilizadas, as avarias de equipamentos e faltas dos operadores.

A construção do modelo de simulação (Anexo III) revelou-se bastante complexa devido à quantidade de informação contida no sistema, sendo que a construção do mesmo iniciou-se com o molde que se entendeu como sendo o mais simples. A partir deste ponto inicial, foram sendo introduzidos os outros moldes. À medida que a observação decorria, foi-se delineando possíveis sequências de produção (Anexo IV), de forma a ser possível agrupar as peças com a mesma sequência e, assim, utilizar uma das ferramentas do Arena® (figura 32). Desta forma foi possível atribuir a mesma sequência de produção a várias peças. Após a identificação de todos os percursos de produção possíveis, contabilizaram-se 93 sequências de produção.

	Station Name	Step Name	Next Step	Assignments
1	st corte			0 rows
2	St torneamento			0 rows
3	St tempera			0 rows
4	St retificacao cilindrica			0 rows
5	St retificacao plana			0 rows
6	St erosao fio			0 rows
7	St mont. final			0 rows

Figura 32: Exemplo da introdução de uma sequência de produção

Inicialmente foi criado um atributo para cada molde que define o número do molde e, uma vez que no sistema produtivo era necessário cumprir as ordens do cliente, foi necessário criar outro atributo de forma a identificar a prioridade nas ordens de produção (figura 33).

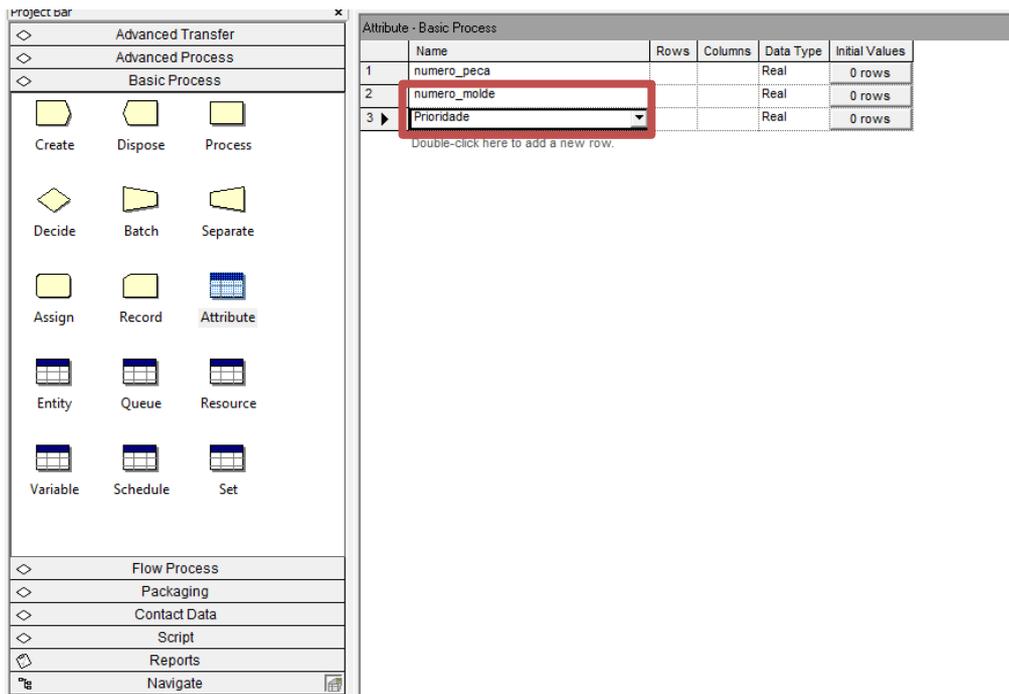


Figura 33: Definição de um atributo para cada molde

O número do molde é designado através de um atributo “numero_molde” e após esta definição, todas as peças e elétrodos correspondentes aos vários moldes foram identificadas através de um número, ou seja, aos moldes 1, 2, 3 e 4 foram atribuídos os números 1, 2, 3 e 4, respetivamente. Para definir a prioridade dos moldes, foi criado outro atributo designado como “Prioridade” que foi introduzido na definição da entrada das entidades no sistema e também no campo *Priority* dos blocos *Process*. Sendo assim, as peças e os elétrodos dos moldes 1, 2, 3 e 4 foram definidos com o atributo “Prioridade” com os números entre 1 e 8, sendo que a prioridade 1 é a mais elevada (tabela 5).

Tabela 5: Prioridades na produção das peças e elétrodos

Entidades	Prioridade
Peças_molde 4	1
Elétrodos_molde 4	2
Peças_molde 2	3
Elétrodos_molde 2	4
Peças_molde 1	5
Elétrodos_molde 1	6
Peças_molde 3	7
Elétrodos_molde 3	8

A criação de atributos permitiu que num dado momento do modelo em que se tomem decisões (figura 34), em vez de especificar detalhadamente quais as peças que seguem por um determinado caminho, basta especificar o atributo do número do molde que engloba essas mesmas peças. Esta opção facilitou a construção do modelo e impediu a ocorrência de erros caso fosse necessário especificar o percurso exato de todas as peças.

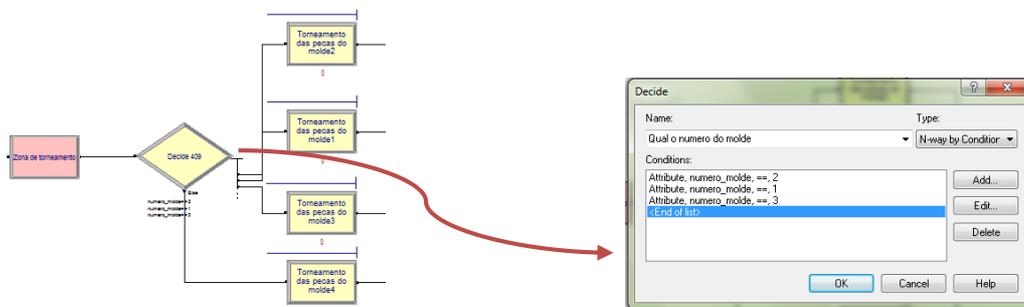


Figura 34: Utilização dos atributos num bloco Decide

Outros dos problemas encontrados na construção do modelo foi a quantidade de tempos de produção e de *setup* observados. Embora existissem peças que fossem todas sujeitas, por exemplo, à operação de corte, os tempos observados eram diferentes e era necessário especificar qual o tempo de corte que era específico de cada peça. Numa fase inicial optou-se por colocar um *Process* para cada tipo de peça mas com a introdução dos outros moldes, o modelo tornou-se muito extenso e confuso. Uma forma de ultrapassar este obstáculo foi a utilização das tabelas *Expression* disponíveis no *Advanced Process* (figura 35) e, assim, simplificar a construção do modelo.

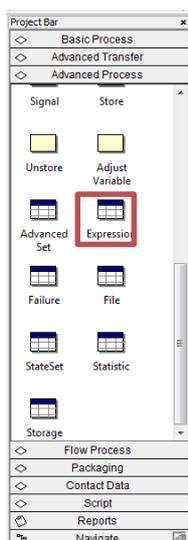


Figura 35: Tabelas Expression disponíveis no separador Advanced Process

Para criar as tabelas foi necessário retratar as seqüências de cada peça no sistema produtivo através de esquemas de produção (Anexo V). Os esquemas de produção tinham como objetivo tornar mais simples

a identificação do percurso de cada peça no sistema e permitir a construção das tabelas referidas anteriormente. Na construção dos esquemas de produção foi necessário que a mesma operação estivesse alinhada de forma a pertencer à mesma coluna, tal como os blocos referentes ao percurso de cada peça também deviam estar alinhados para pertencer à mesma linha, tal como o representado na figura 36.

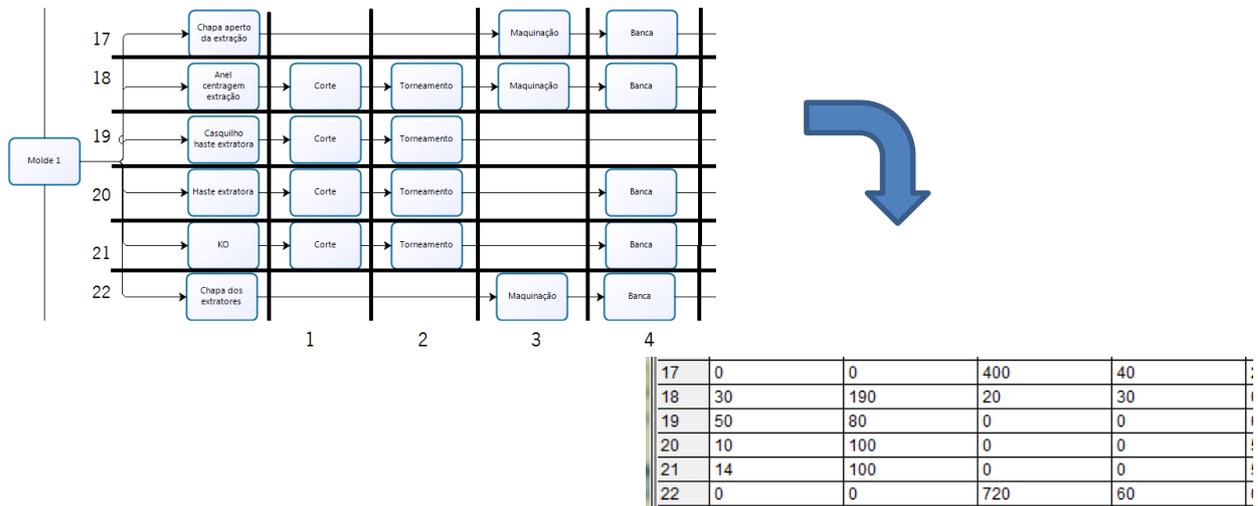


Figura 36: Exemplificação da construção da tabela Expression através do esquema de produção do molde 1

Estas tabelas foram designadas através das expressões “tempos_proc moldeX” e “tempos_prep moldeX”, perfazendo num total de 6 tabelas geradas (figura 37), que podem ser consultadas no Anexo VI. Estas expressões serão utilizadas nos blocos *Process* para representar os diversos processos produtivos existentes na serralharia, como será explicado mais à frente.

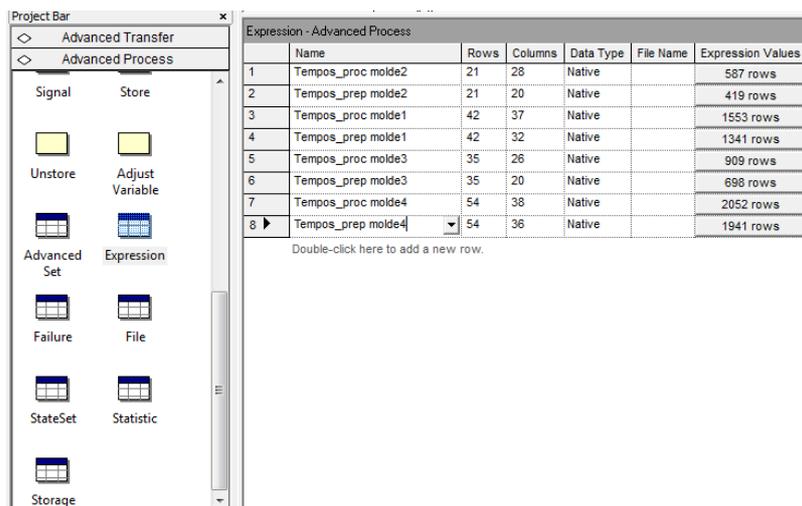


Figura 37: Tabelas Expression dos respetivos moldes

Em análise à figura 38 verifica-se a redução da utilização dos blocos *Process* que, em virtude da utilização das tabelas *Expression*, é apenas utilizado um por cada molde que engloba todas as peças que são sujeitas ao corte.

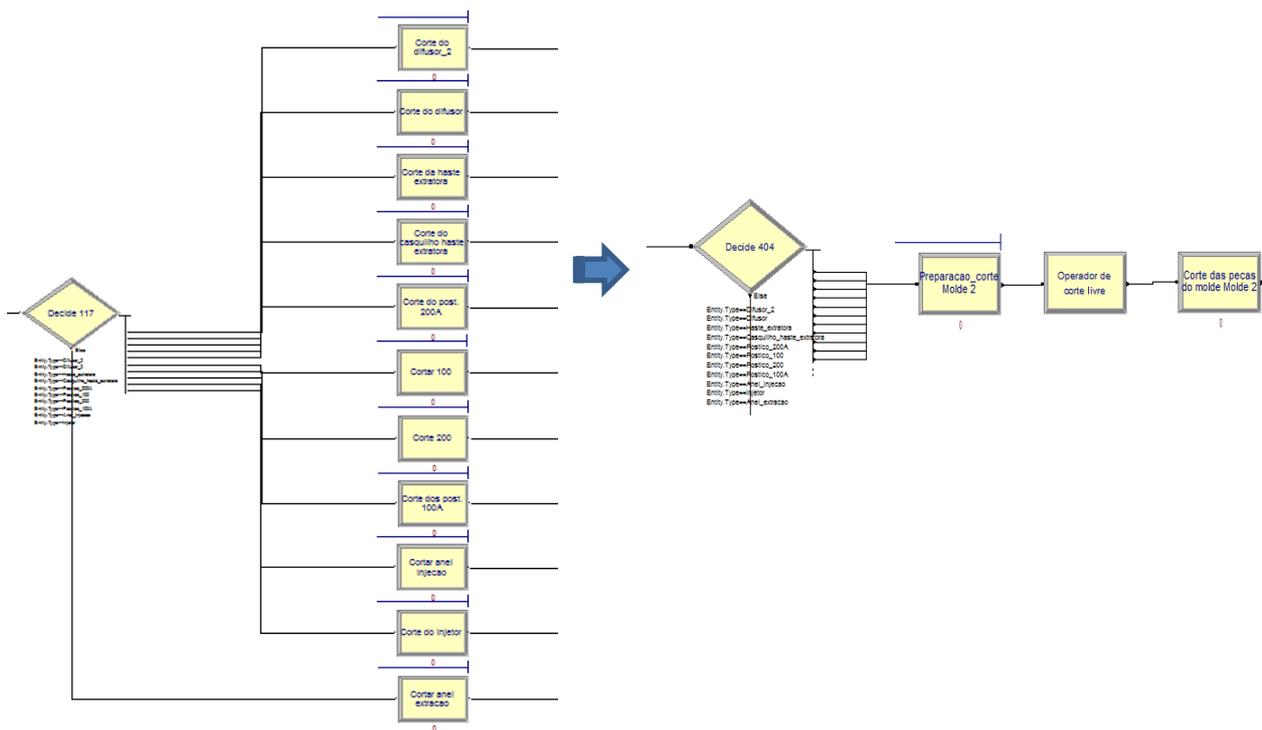


Figura 38: Simplificação da construção do modelo com recurso às tabelas Expression

Foram criadas duas tabelas para cada molde com os respetivos tempos de produção e de *setup* referentes às diversas peças que compõem os mesmos, sendo que cada linha da tabela representa os tempos de produção e de *setup* de uma peça e cada coluna representa um determinado processo produtivo. Para utilizar as tabelas foi necessário criar um outro atributo designado por “numero_peca” e adicionar este atributo nos blocos *Assign* referentes à caracterização de cada peça no sistema. Este atributo indica qual a linha da tabela a que pertence determinada peça. A figura 39 representa uma peça que pertence ao molde 2 e como atributo “numero_peca” assume o valor de 1, ou seja, nas tabelas *Expression* referentes ao molde 2, os tempos introduzidos na linha 1 representam apenas esta peça em questão.

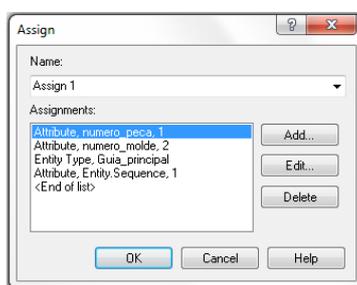


Figura 39: Caracterização de uma peça através do atributo "numero_peca"

A construção dos esquemas referentes à sequência de produção das peças permitiu a construção das tabelas *Expression*. Em análise da figura 40, é possível compreender a lógica das tabelas pois representa o excerto de umas das tabelas geradas. Os números da primeira coluna representam os atributos dados

às peças, por exemplo, a peça A tem o atributo 1 logo os tempos correspondentes a esta peça estão na linha do número 1. Quanto aos números da primeira linha, estes representam os diversos processos produtivos. Supondo que o número 1 representa a operação de corte, pela análise da tabela conclui-se que todas as peças são sujeitas ao corte com exceção da peça 1, no caso da coluna 2 representar o torneamento, constata-se que apenas a peça 2 é torneada e por aí adiante. Tal como já foi referido, estas tabelas foram utilizadas para a introdução dos tempos de produção e de *setup* nos blocos *Process*. A utilização das tabelas nos blocos *Process* requiere o uso das expressões referidas anteriormente, “tempos_proc molde X” e “tempos_prep molde X”. Para utilizar as expressões é necessário que o *Delay Type* do bloco *Process* seja do tipo *Expression*, de seguida coloca-se a expressão tendo em conta o molde em questão e se o processo a representar indica o tempo de *setup* da operação ou o tempo de produção, o atributo “numero_peca” também deve ser colocado para que quando uma peça chegue ao bloco *Process* este identifique qual a linha da tabela a que ela pertence e, por fim, colocar o número da coluna com o processo a ser modelado.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	0	0	0	0	0	0	0	80	0
2	6	60	0	0	0	5	50	90	0
3	40	0	640	0	0	5	0	560	0
4	50	0	205	170	10	5	0	1320	0
5	60	0	205	170	10	5	0	1320	0
6	64	0	630	0	0	5	0	575.2	0

Figura 40: Exemplificação da introdução dos tempos registados através das tabelas Expression

Seguindo o raciocínio anterior, supondo que a coluna 1 da figura anterior representa o processo de corte do molde 2, a expressão representativa da preparação do corte seria “tempos_prep molde2 (numero_peca,1)” (figura 41) e a expressão relativa ao tempo de corte das peças seria “tempos_proc molde2 (numero_peca,1)” (figura 42). Caso o processo a modelar fosse a maquinaria e se esta fosse representada pela coluna 5, as expressões seriam idênticas às anteriores com a alteração da coluna 1 pela 5.

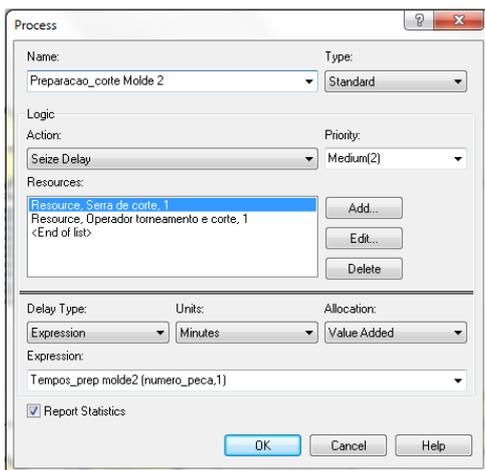


Figura 41: Representação do processo de preparação de corte do molde 2

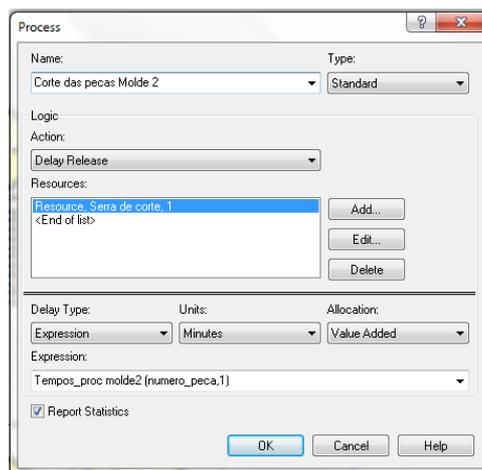


Figura 42: Representação do processo de corte do molde 2

Quanto aos horários dos operadores, como os operadores não se encontravam sempre disponíveis durante o tempo de simulação e foi necessário indicar o tempo em que estavam operacionais e o tempo em que não estavam disponíveis, quer pelo facto de terem uma paragem para almoçar ou então por não estarem na serralharia. Face a isto, foram definidos através de uma folha de dados (*Schedule*) disponível no separador *Basic Process* do tipo *Capacity* (figura 43). A escala da unidade de tempo escolhida foi de 0,5 horas e após a introdução dos horários, estes devem ser editados através da opção *Edit Via Dialog* de forma a indicar o número de meias horas em que o operador está ou não disponível através dos números 1 e 0, respetivamente. O somatório das meias horas introduzidas deve perfazer um total de 48, que corresponde ao número total de meias horas que um dia “normal” tem e o somatório das meias horas com valor 1 deve ser igual a 16 que indicam o horário laboral de 8h de cada operador. Relativamente ao horário dos equipamentos, também procedeu-se da mesma forma, pois alguns só podem funcionar na presença do operador. Os horários dos operadores e dos equipamentos podem ser consultados no Anexo VII.

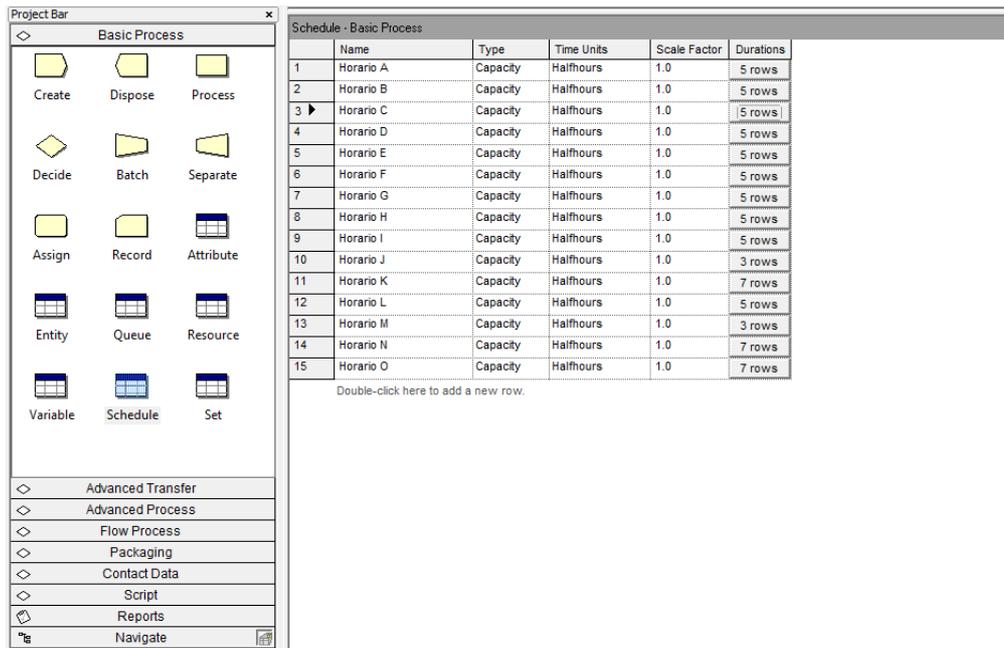


Figura 43: Horários dos recursos introduzidos no Arena®

A figura 44 representa um dos vários horários introduzidos no Arena® e este representa o horário dos operadores que trabalham entre as 6h e as 14:30h, com uma paragem para almoçar entre as 12h e as 12:30h. A figura 45 representa o *Edit Via Dialog* correspondente ao horário A, onde é possível verificar que inicialmente existiu um período de 12 meias horas com o valor 0 em que o operador não esteve na serralharia, segue-se um período de 12 meias horas com o valor 1 onde o operador encontrava-se disponível para realizar as tarefas e, de seguida, o operador realizou a paragem para almoço sendo esta representada por uma meia hora com valor 0. Após o almoço, os operadores com este horário estavam novamente disponíveis durante 4 meias horas com o valor 1 até terminarem o dia de trabalho. Quando este termina, existiu um período de 19 meias horas com valor 0 até completar o dia “normal”. Como se pode comprovar, o somatório das meias horas referidas anteriormente perfizeram um total de 48 e o somatório das meias horas em que os operadores estão disponíveis foi de 16.

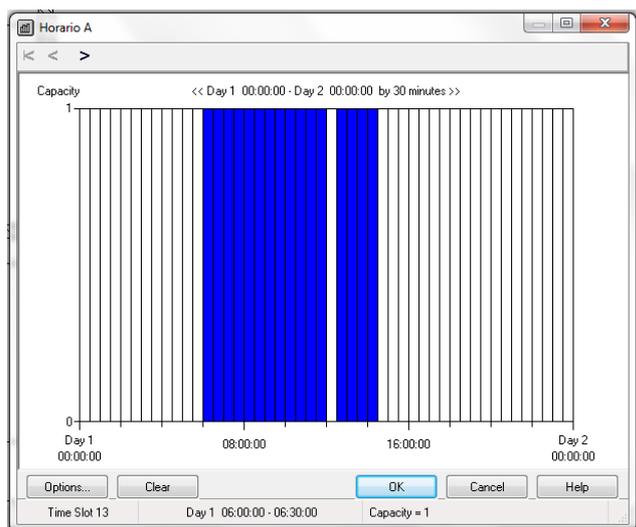


Figura 44: Representação dos horários dos recursos através de Schedules

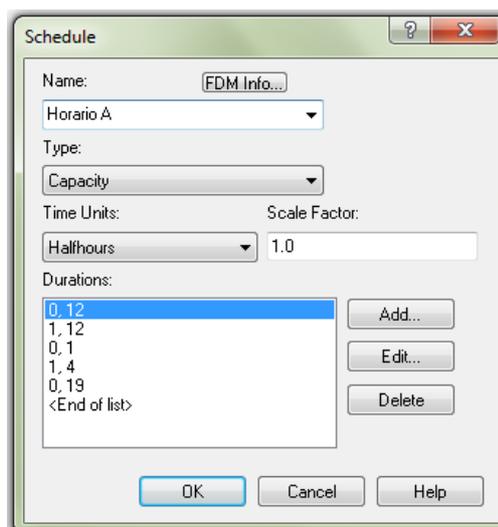


Figura 45: Atribuição das meias horas com o valor 0 e 1 do horário A

Com o decorrer da observação, constatou-se que havia mais do que um recurso disponível para executar um determinado processo. Por exemplo, no processo de furação rápida estavam disponíveis 3 operadores para executar esta operação e a execução deste processo dependia do horário de cada operador. No bloco *Process* estes 3 operadores tinham de ser alocados como recursos mas caso fossem adicionados um a um, o que aconteceria era que quando uma peça fosse sujeita à furação rápida, este processo só ocorreria quando os 3 recursos estivessem disponíveis ao mesmo tempo, ficando a peça à espera até que estivessem todos os recursos para ocupá-los na mesma operação, ao contrário de ocupar apenas 1. Uma forma de contornar este problema foi através da utilização dos *Sets* disponíveis no separador *Basic Process* (figura 46) que consistiu na criação de grupos de recursos que estão disponíveis para executar uma determinada operação e, assim, é apenas utilizado o recurso que esteja disponível no momento em que as peças chegam à operação em questão. A regra de utilização dos recursos dentro do *Set* pode ser feita de diversas formas, nomeadamente, *Cyclical*, *Random*, *Preferred Order*, *Specific Member*, *Largest Remaining Capacity* ou *Smallest Number Busy*, sendo que no modelo desenvolvido foram utilizadas as regras do tipo *Cyclical* e *Specific Member*. Ao adicionar os recursos no bloco *Process*, este deve ser do tipo *Set* para que seja possível utilizar os conjuntos de recursos. Tomando como exemplo o caso da furação rápida, existiam 3 operadores disponíveis, nomeadamente, o operador de eletroerosão fio, o operador de eletroerosão penetração 3 e o operador de torneamento e corte. Face a isto, foi criado um *Set* com o nome “Operadores furacao rapida” (figura 47) que, posteriormente, foi utilizado nos blocos *Process* (figura 48).

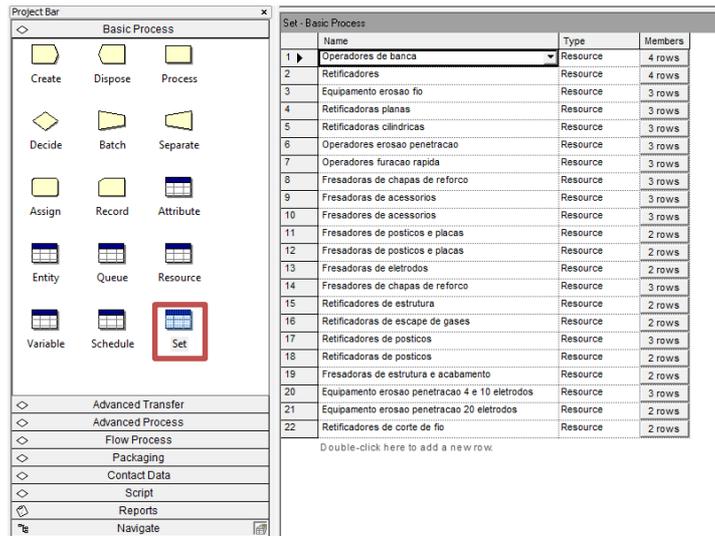


Figura 46: Sets de recursos utilizados na modelação do sistema

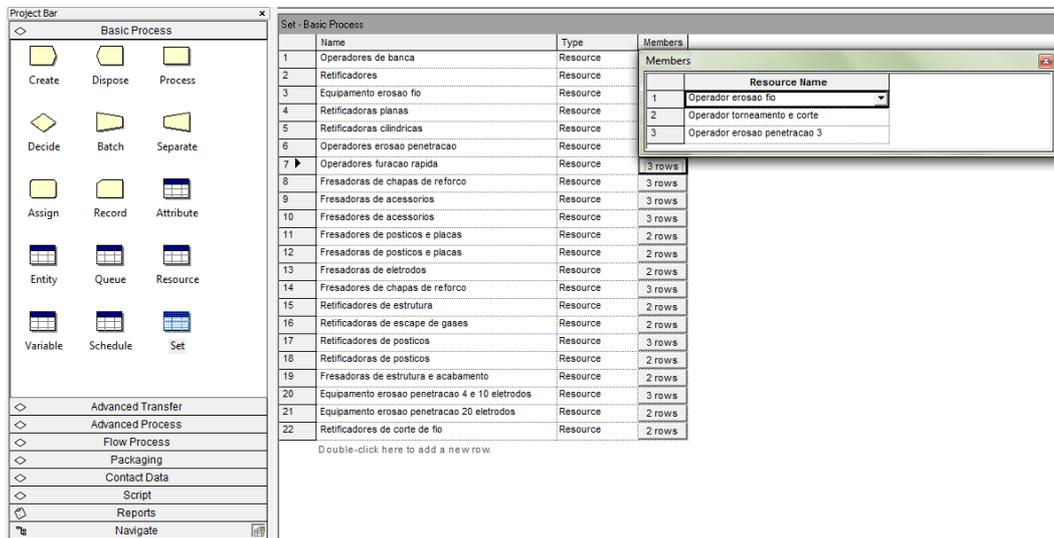


Figura 47: Set representativo dos operadores disponíveis para o processo de furação rápida

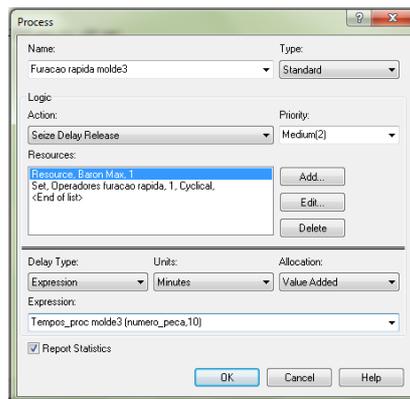


Figura 48: Utilização do Set "Operadores furacao rapida" num bloco Process

Quanto à entrada das entidades no sistema (Anexo VIII), esta processou-se através de um bloco *Create* onde se introduziu o nome da entidade, o número de entidades por chegada, o máximo de chegadas e,

uma vez que as peças não entraram todas no mesmo instante, define-se o momento da simulação em que estas entidades entram no sistema, sendo este valor indicado no campo *First Creation*, em dias. Em análise da figura 49, o *Create* é relativo à entrada do injetor do molde 2 que assumiu o nome de “Injetor_molde2”, a chegada desta entidade foi do tipo constante, por cada chegada entrou apenas uma entidade e teve um máximo de chegadas com valor 1 pois apenas entrou um injetor com este nome. No campo *First Creation* verifica-se que esta entidade entra no sistema 15 dias após o início da simulação.



Figura 49: Exemplo da introdução de entidades no sistema modelado através de um bloco *Create*

Após o *Create* das entidades, é utilizado um bloco *Assign* onde é atribuído um nome à entidade que depois irá caracterizar no sistema, a sequência de produção, o molde a que pertence e o respetivo número identificativo da sua localização nas tabelas *Expression*. A figura 50 representa um *Assign* onde é caracterizada a peça anterior cujo nome que identifica a entidade é “Injetor_molde2”, como atributo “numero_molde” tem o número 2 indicativo que pertence ao molde 2, através do atributo “Entity.Sequence” é-lhe conferido o valor 12, ou seja, nas sequências introduzidas a peça em questão segue a ordem de produção introduzida na sequência 12 e como atributo “numero_peca” assume o valor 1.

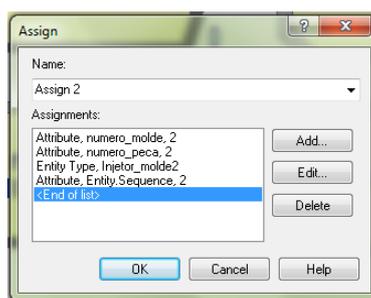


Figura 50: Caracterização da entidade "Injetor_molde2" através do bloco *Assign*

Após a definição das entidades através dos blocos *Create* e *Assign*, é colocado um outro *Assign* que está ligado a todos os *Assigns* das peças do mesmo molde onde é introduzido o atributo “Prioridade” (figura 51), de seguida este bloco é ligado a um bloco *Route* (figura 52) que envia as entidades para as várias estações de trabalho existentes no modelo seguindo a sequência que lhes foi atribuída através do atributo “Entity.Sequence”. Os blocos *Route* fazem a transição das entidades entre as várias estações de trabalho existentes no sistema e podem ser do tipo “station”, “By Sequence”, “Attribute” ou “Expression” e como

neste caso são utilizadas *Sequences*, os *Routes* utilizados foram do tipo “By Sequence”. Nestes blocos também deve ser colocado o tempo que as entidades demoram a transitar de uma estação de trabalho para a seguinte.

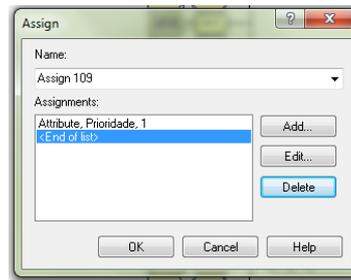


Figura 51: Atribuição da prioridade na produção

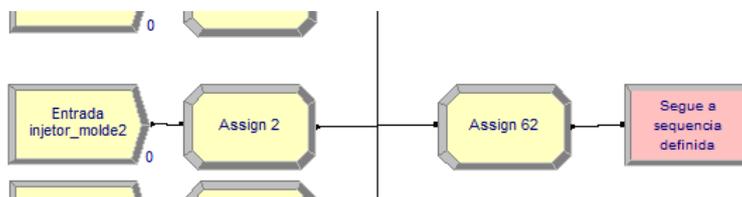


Figura 52: Utilização do bloco *Route* na introdução das entidades no sistema

Depois da entrada das entidades no sistema, estas são enviadas para as estações de trabalho definidas nas sequências, sendo estas estações definidas como *stations* (Figura 53). No modelo de simulação existem diversas *stations* que representam as várias fases, referidas no subcapítulo 4.3, onde circulam os constituintes dos moldes, não sendo representada a fase de projeto. As *stations* criadas são várias e uma vez que dentro da mesma fase podem ocorrer diversas operações, é necessário distingui-las. Por exemplo, na maquinação existe uma fresagem inicial das peças, seguindo-se uma fresagem de acabamento mas entre estas operações, as peças passam por outros processos. Desta forma torna-se necessário que dentro da fase de maquinação exista uma *station* com o nome “zona de maquinação” e outra *station* com o nome “zona de fresagem de acabamento”. Caso os processos existissem numa só *station*, a entidade iria repetir os processos quando voltasse a essa *station*, aumentando o seu tempo de permanência no sistema. Tal como na fase da banca existem diversos processos como foi referido no capítulo 4.3, sendo estes distinguidos com várias *stations*, nomeadamente, “zona de furação”, “zona de montagem”, “zona de receção de material comprado”, entre outras. Neste passo também foi importante que o nome da *station* esteja escrito de acordo com o nome das *stations* introduzidas nas *Sequences*, pois caso fosse diferente, surgiria um erro e o Arena® não iria reconhecer o destino das peças.

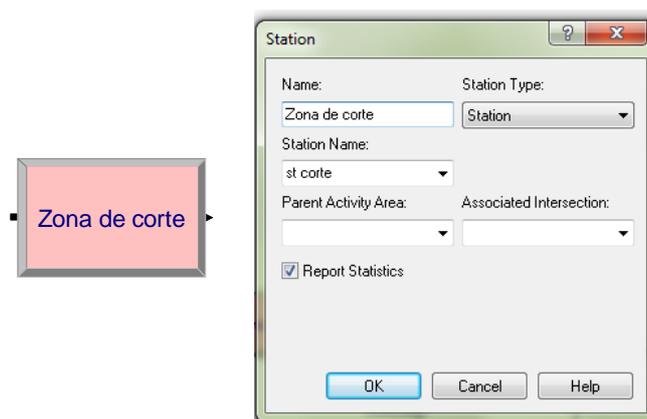


Figura 53: Station representativa da estação de trabalho de corte

Com a chegada das entidades às várias *stations*, foi colocado um bloco *Decide* que encaminha as mesmas para os respetivos *Process*, caso chegassem várias peças de moldes diferentes. O bloco *Decide* pode ser de diversos tipos, tais como, “*2-way by Condition*”, “*2-way by Chance*”, “*N-way by Condition*” ou “*N-way by Chance*” mas como no modelo gerado utilizaram-se atributos, apenas se utilizaram *Decides* do tipo “*2-way by Condition*” e “*N-way by Condition*”. Posto isto, foram utilizados os blocos *Process* e uma vez que foram introduzidos os tempos separadamente nas tabelas *Expression* é necessário colocar 2 blocos que representem o tempo de *setup* e o tempo de processamento pois, em várias situações, o operador apenas esteve presente durante o *setup* dos equipamentos. Desta forma, foi utilizado um *Process* do tipo *Seize Delay* que representou o tempo de *setup* e onde foram utilizados o operador e o equipamento, seguiu-se um *Release* do operador que indica que este terminou o *setup* e ficou livre e, por fim, outro *Process* do tipo *Delay Release* cujo recurso foi o equipamento e indicou o término do processo, como é o caso da operação de corte representado pela figura 54. Caso fosse um processo em que o operador deve estar presente até a operação terminar, o *Process* é do tipo *Seize Delay Release* e o tempo total da operação está incluído na tabela referente aos tempos de processamento (figura 55).

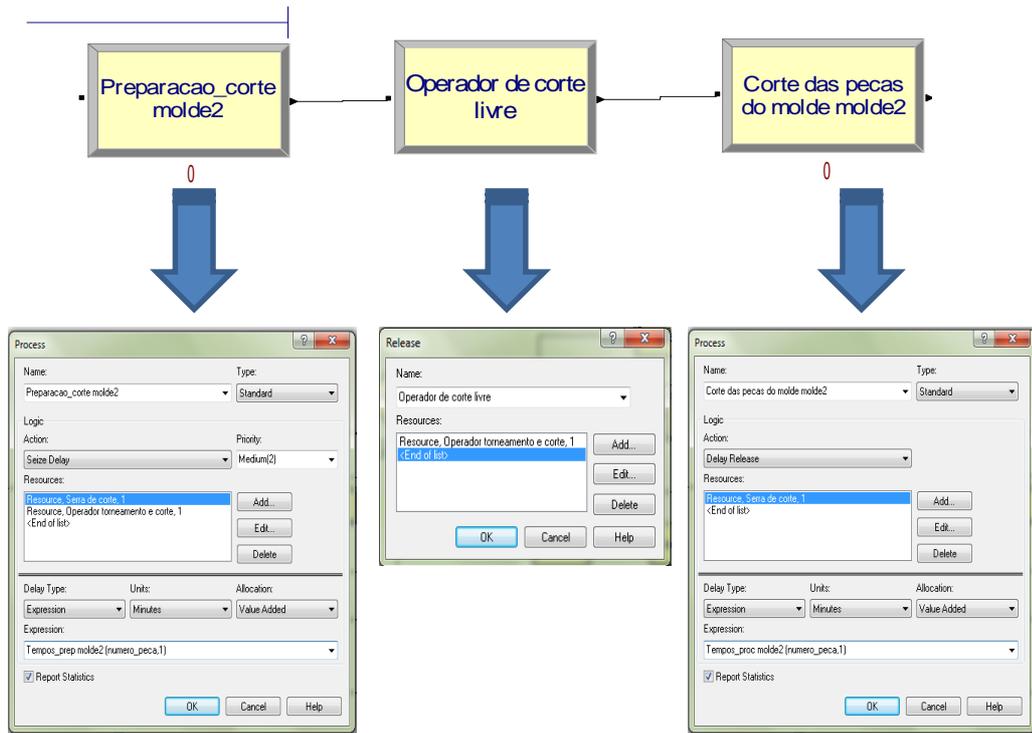


Figura 54: Representação do processo de corte

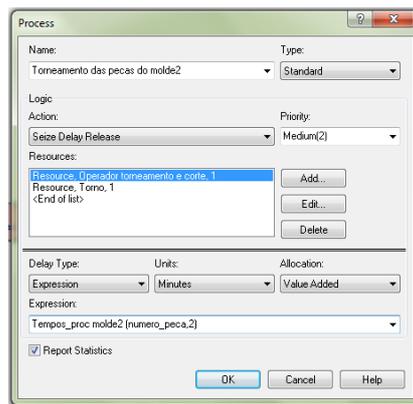


Figura 55: Exemplo de uma operação em que o operador deve estar presente até a mesma estar terminada

Em alguns processos, por exemplo, maquinação de estrutura, retificação de chapas de aperto, eletroerosão penetração de conjuntos de peças, foi necessário criar conjuntos. Os conjuntos de peças foram criados com utilização de um bloco *Batch* antes do *Process* em que indicou-se o número de peças que compõem o conjunto e após o *Process*, colocou-se um bloco *Separate* para que o conjunto fosse separado e seguisse o percurso individualmente. A figura 56 representa a eletroerosão penetração dos postigos 200F e das hastes e este processo só ocorre quando estas duas entidades chegam à *station* de eletroerosão penetração. Para isso, utilizou-se um *Batch* do tipo “Temporary” e após blocos *Process* e *Release*, colocou-se um *Separate* do tipo “Split Existing Batch” que repôs novamente as peças no sistema e desfaz a ação do *Batch*.

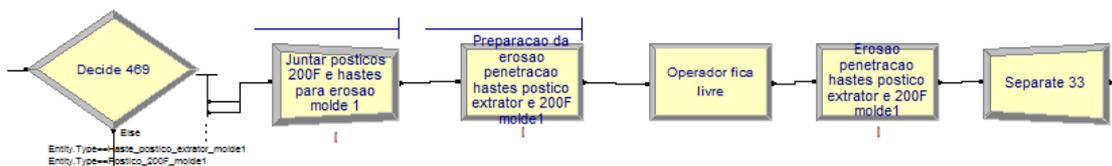


Figura 56: Utilização de blocos Batches na eletroerosão penetração

Após as entidades passarem pelas diversas *stations*, estas terminam o percurso na *station* designada como “zona de montagem final”, foi criado um *Batch* para cada molde e saíram do sistema através de um bloco *Dispose* (figura 57).

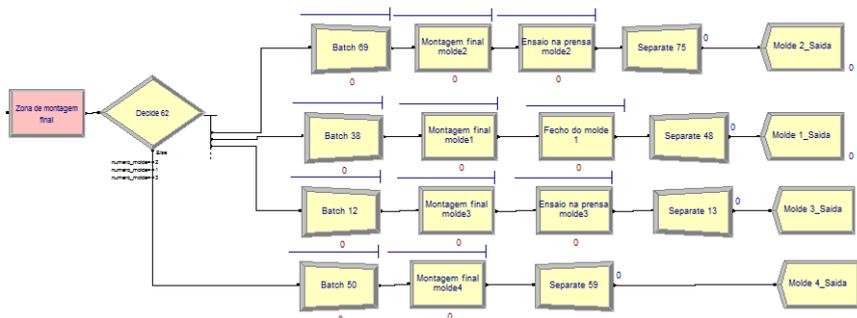


Figura 57: Saída das entidades no sistema

Com o modelo construído procedeu-se à simulação de forma a obter os relatórios de simulação. Para isso, foi necessário definir os parâmetros da simulação no separador *Run*, nomeadamente, o número e tamanho das replicações do modelo, o período de aquecimento (*warm-up Period*), número de horas de simulação por dia, a condição que determina o fim da simulação e as unidades de tempo dos relatórios de simulação. Observando a figura 58 verifica-se que o modelo de simulação iniciou no dia 12 de Janeiro de 2015, sendo simuladas 24h por dia visto que se utilizou *Schedules* quanto ao horário dos recursos e, em virtude da utilização de uma condição, o modelo interrompeu a simulação quando todas as entidades do último molde a ser montado saem através do bloco *Dispose*.

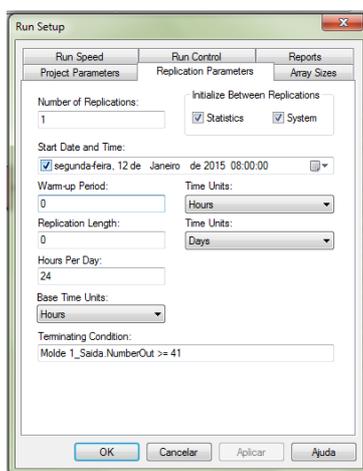


Figura 58: Parâmetros do modelo de simulação

5.2.1 Validação e verificação do modelo

Para validar e verificar o modelo de simulação foram utilizadas várias técnicas. À medida que o modelo foi sendo construído, verificou-se se todas as peças chegavam à montagem final e se ao longo do modelo não existiam outras saídas, além da existente na montagem final. Outra técnica utilizada foi a análise do VA de cada entidade no sistema e comparar com os tempos recolhidos durante a recolha de dados (figura 59). Desta forma, verificou-se se realmente as peças passam nas *stations* que lhe foram atribuídas. Caso o VA obtido nos relatórios de simulação fosse diferente do observado era necessário identificar qual o processo que estava a originar o erro. Este passo, embora fundamental, foi bastante demoroso, pois implicou rever cada *station* para perceber o percurso que a peça em questão estava a seguir e que induziu o erro. A última técnica utilizada foi realizada já com o modelo terminado e junto do responsável da serralharia, de forma a identificar se os recursos estavam a ser utilizados corretamente e verificando as restrições que existiram na execução de determinadas tarefas.

VA Time		VA(horas)	
	Average		
Anel_extracao_molde1	36.2613	anel_extracao_molde1	36.2
Anel_extracao_molde2	20.7450	anel_extracao_molde2	20.75
Anel_extracao_molde3	16.1267	anel_extracao_molde3	16.13
Anel_extracao_molde4	15.6307	anel_extracao_molde4	15.64

Figura 59: Comparação do VA obtido na simulação com o observado

5.3 Análise da situação atual

Durante a observação constatou-se que no registo de tempos, nomeadamente no setor de retificação, também foi observado o registo de tempos de peças que não pertenciam ao molde 3 (figura 60) e em algumas situações, o registo dos tempos de produção pelos operadores diferia dos tempos observados (tabela 6). Existiam situações, nomeadamente na eletroerosão penetração, quando o único operador da manhã tinha muitos equipamentos para colocar a trabalhar, este fazia com que os equipamentos trabalhassem com velocidades mais baixas que o normal para poder ter tempo para colocar os restantes equipamentos em funcionamento.

80				
81				
82	Rectificação Cilindrica	80771	Macho hidraulico	2.00
83				
84				
85				
86				
87				
88				
89	Rectificação Plana	80771	200-BODY	3.50
90	Rectificação Plana	80771	100-A-RK	1.50
91				

Figura 60: Registo de tempos de produção de peças que não pertenciam ao molde 3

Tabela 6: Alguns exemplos da heterogeneidade entre os tempos observados e registados

Molde	Peça	Processo produtivo	Tempo observado (min)	Tempo registado (min)
Molde 1	Haste posição extrator	Eletroerosão Penetração	2440	2520
	Postiços da extração	Furação rápida	550	600
Molde 2	Difusor	Eletroerosão	660	480
	Difusor_2	Penetração	240	0
Molde 3	Suporte_012G	Retificação Plana	60	90
	Postiços principais (injeção e extração)	Fresagem	820	860
Molde 4	Extrator	Eletroerosão Penetração	60	120
	Postiços da injeção 100B	Furação rápida	240	480
	Chapas da Bucha e da cavidade	Retificação plana	315	330
	Postiços do lado da extração	Retificação plana	447	510
	007_02	Retificação plana	135	240

No modelo de simulação não foram contemplados os casos em que existe retrabalho (tabela 7) das peças quando estas não estavam em conformidade, sendo este problema mais visível na zona de maquinação pois neste setor não existe um posto de controlo. Em todos os casos os problemas na fresagem das peças só era detetado quando chegavam à zona de banca e eram reencaminhadas novamente para a maquinação. A maioria das peças reparadas esteve relacionada com a estrutura do molde e as reparações realizadas foram apenas correções de furos. No caso do posição do molde 4, o retrabalho consistiu em maquinar uns posições novos pois os iniciais ficaram inutilizados durante a fresagem. No molde 1 verificou-se que de um conjunto de 10 posições iguais, apenas um posição teve passar novamente no setor de eletroerosão penetração. Em relação ao posição principal, este teve de passar pelo processo de furação rápida pois durante a fresagem, umas das brocas da fresadora partiu no interior de um furo. Desta forma, o posição teve de ser furado de forma a ser possível eliminar a broca partida. No caso do molde 3, uns posições tiveram de ser cortados novamente na eletroerosão fio pois durante a retificação plana estes ficaram inutilizados. Durante o estudo também observaram-se alguns

casos de peças, durante a eletroerosão penetração, em que o programa era colocado de forma errada nos equipamentos e as peças eram “queimadas” em demasia. Consequentemente, as peças tinham de ser soldadas, retificadas e novamente sujeitas à eletroerosão penetração.

Tabela 7: Tempo utilizado em retrabalho

Peça	Molde	Processo produtivo	Tempo despendido (min)
Perno do movimento 050_A	Molde 4	Retificação plana	40
Postiço da extração		Fresagem	480
Chapa Aperto da Injeção			90
Chapa Aperto da Extração			60
Chapa Aperto dos Extratores			60
Chapa proteção sensor pressão			130
Placa Extratores 007_02			60
Chapa da Bucha	Molde 2	Fresagem	30
Postiço	Molde 1	Eletroerosão penetração	360
Postiço principal		Furação rápida	30
Chapa da Bucha		Fresagem	160
Chapa Aperto dos Extratores		Fresagem	30
Chapa da bucha	Molde 3	Fresagem	120
Postiços		Eletroerosão Fio	120

Analisando a tabela 8 é possível identificar as diferenças entre os tempos totais observados e os registados em cada setor pelos operadores, bem como identificar em que setor essas diferenças são mais acentuadas. Por observação da tabela conclui-se que em todos os moldes existem diferenças de tempos no setor de corte e isto deve-se ao facto do operador realizar diversas movimentações entre esta zona e a zona de torneamento. Em algumas situações, o operador colocou uma peça a cortar e no momento em que estava a cortar foi para a zona de torneamento. Em diversas vezes a peça já estava cortada mas o operador estava ocupado com outra operação noutra zona da serralharia e não viu o momento em que o corte da peça terminou. Face a isto, o operador colocava um tempo aproximado e que, na maioria das vezes, era superior ao tempo real de corte. No torneamento a diferença de tempos relativamente ao molde 1 deve-se ao facto de terem sido torneados eléctrodos mas o operador não contabilizou esse tempo nos custos do molde, mais precisamente 2h 20 minutos. Na eletroerosão penetração também existem diferenças significativas e, no caso do molde 2, observou-se que durante 3h nenhum operador teve disponibilidade para colocar o equipamento onde estavam as peças a

funcionar, permanecendo as peças dentro do mesmo parado, contudo, este tempo foi contabilizado nos custos do molde. Na retificação cilíndrica, verificou-se que o único operador responsável demorava muito tempo para efetuar as operações cometendo alguns erros. Por vezes, os outros operadores tinham de parar o que estavam a fazer para ir ajudá-lo, mas contabilizavam esse tempo na operação que estavam a fazer e o retificador cilíndrico também contabilizava esse mesmo tempo nas suas tarefas, existindo, por vezes, sobreposição de tempos. Quanto à retificação plana, em alguns casos os retificadores estavam ocupados com duas retificadoras planas em simultâneo e muitas vezes acontecia que uma das retificadoras terminava a retificação e aguardava que o retificador estivesse disponível para que este verificasse as peças. Nestes casos verificou-se que os retificadores contabilizaram os tempos em que as retificadoras estavam paradas.

Tabela 8: Diferenças entre os tempos observados e os tempos registados pelos operadores

Molde	Setor	Tempo observado (h)	Tempo registado (h)	Tempo total observado (h)	Tempo total registado (h)
Molde 1	Eletroerosão Fio	190.48	190.5	1671.68	1683.6
	Fresagem	315.8	315.93		
	Corte	14.2	14.84		
	Torneamento	24.80	22.49		
	Banca	191	191		
	Retificação	325.5	332.33		
	Eletroerosão Penetração	609.9	616.5		
Molde 2	Eletroerosão penetração	171.1	156	499.45	489.3
	Corte/Torneamento	15.1	15.5		
	Eletroerosão Fio	26.25	27.25		
	Retificação	90.6	91.8		
	Maquinação	134.9	136.75		
	Banca	61.5	62		
Molde 3	Eletroerosão penetração	85.42	80.5	366.69	364.6
	Eletroerosão Fio	30	30		
	Banca	51	51		
	Maquinação	96.58	98.24		
	Retificação	76.37	77.04		
	Corte/Torneamento	27.32	27.84		
Molde 4	Eletroerosão Fio	82.3	83	983.4	993
	Corte/Torneamento	36.7	38		
	Maquinação	275.6	276.75		
	Banca	72.13	73		
	Retificação	194.92	196		
	Eletroerosão Penetração	321.72	326.5		

Utilizando os registos de tempos dos operadores durante o período de observação, fornecidos pelos responsáveis pela serralharia, foram criadas tabelas dinâmicas no Excel. O período de observação

indicado nas tabelas é limitado pelo início de produção do molde 4 e o término de produção do molde 3. Estas tabelas permitiram o cruzamento de dados e analisar a relação existente entre diversas variáveis. Ao relacionar o serviço com o registo de tempos do mesmo torna-se visível o momento do dia em que os operadores registam com maior incidência os tempos de produção (figura 61). No caso da fresagem constata-se que o registo foi feito de uma forma dispersa ao longo do dia de trabalho e verificou-se que todos os registos entre as 6h e as 7h indicaram a produção efetuado pelo fresador 1 no dia anterior ao registo. Entre as 8h e as 13h o registo de tempos de produção foi mais elevado uma vez que estavam 3 fresadores na serralharia a introduzir tempos de produção do dia anterior, nomeadamente dos fresadores 3 e 4, mas também a introduzirem alguns tempos do próprio dia. No início do período da tarde verificou-se alguma intensidade no registo uma vez que culminou com a chegada de alguns fresadores da hora de almoço que aproveitaram para efetuar registos, com a saída do fresador do turno da manhã e a chegada do fresador do turno da tarde que atualizou os registos do dia anterior. A partir das 18h o registo já foi mais reduzido uma vez que só existe um fresador a trabalhar. No caso da eletroerosão penetração, verificou-se um registo mais intenso entre as 14h e as 16h que coincidiu com o fim do turno da manhã e o início do turno da tarde, sendo que no último caso é possível afirmar que os tempos registados referiam-se ao dia anterior. Na eletroerosão por fio também observou-se um maior registo após a paragem para almoço, sendo mais visível no período das 17h que foi quando este operador terminou o dia de trabalho. Neste setor também constatou-se o registo de tempos no início do turno pelo facto de algumas vezes este deixar os equipamentos a trabalharem algum tempo após ter terminado o dia de trabalho. Relativamente à retificação cilíndrica notou-se que os registos efetuados não foram introduzidos pelo retificador que efetuou o trabalho pois este só se encontrava na serralharia a partir das 8h, o que pôde induzir alguns erros pois quem introduz os tempos poderia ter dúvidas. Desta forma concluiu-se que quem registou os tempos foi o retificador que iniciou o turno às 6h, pois existiam registos às 6h e 7h e no final do turno deste operador. No caso da retificação plana e do trabalho de banca, o registo foi mais notório no início do turno da manhã, próximo da hora de almoço e no início do turno da tarde. Em relação ao torneamento/corte, o operador responsável registou os tempos utilizando um computador de um dos fresadores quando este não estava no local de trabalho, sendo que o registo de tempos ocorre apenas durante um momento do dia que coincide com a paragem para almoço desse fresador. De uma forma geral constata-se que o registo de tempos de produção não é diário e que a maioria dos registos ocorreu em 3 momentos do dia, ou seja, no início ou no fim dos turnos e próximo das paragens dos operadores. Este último facto leva a crer que os operadores já estivessem parados antes da interrupção para almoço ou um pouco depois de já terem terminado a mesma.

Soma de Duração	hora	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	Total Geral
Serviço																			
002 - Fresagem CNC		22.5	112	284.92	304	315	277	309.75	226.83	106.5	148.92	80.17	239.67	29.92	38.5	12.5	121.41	135.41	276.5
003 - Electroerosão Penetração				153			3	137.5	53.33	901.5	1322	563	19.5						3152.83
004 - Electroerosão por Fio				27		50.5	3	65.75		86.5	280.75	108	440.5						1062
005 - Rectificação Cilíndrica		48.17	21.5						23.5	114.5									207.67
006 - Rectificação Plana		222.98	43.58	39.5	3.25	187.5	77	242	165.5	429.33	73.5	200.75	88.75		65		21		1859.64
008 - Trabalho de Banca		69	27	72	3	15	16	19	123	204	48	32	80.5		3.5	58.5	85	121	976.5
009 - Torneamento/Corte								188.86	123.99										312.85
Total Geral		362.7	204.08	576.42	310.25	568	376	962.86	716.15	1842.3	1873.2	983.92	868.92	29.92	107	71	227.41	256.41	10336.49

Figura 61: Relação entre o serviço e o momento em que os operadores registam os tempos de produção dos mesmos

A figura 62 representa a ocupação dos setores em função dos moldes produzidos durante o período de observação e analisando a figura é possível identificar quais os moldes produzidos com maior complexidade, pois são estes que aumentam a ocupação dos setores. Durante o período de observação foram efetuadas algumas reparações em moldes que se encontravam no setor da produção, sendo estes os moldes representados na tabela que não exibem horas de produção em todos os setores da serralharia. Segundo os operadores, a maioria das reparações representou um tempo de *setup* muito superior ao tempo de reparação, embora fosse um trabalho fundamental para a continuação da produção do mesmo.

No total verifica-se que a eletroerosão penetração, a fresagem e a retificação plana foram os setores mais ocupados durante o período de observação. Quanto aos moldes que ocuparam mais os setores, estes foram os moldes 1, 4, 19, 22 e 23, sendo que os primeiros 2 foram alguns dos moldes observados.

Soma de Duração	Serviço	002 - Fresagem CNC	003 - Electroerosão Penetração	004 - Electroerosão por Fio	005 - Rectificação Cilíndrica	006 - Rectificação Plana	008 - Trabalho de Banca	009 - Torneamento/Corte	Total Geral
Sales Order Coded									
1		315.93	616.5	190.5	16	316.33	191	37.33	1683.59
2		136.75	156	27.25	3.5	88.33	62	15.5	489.33
3		98.24	80.5	30	23.5	60.58	47	27.84	367.66
4		276.75	326.5	83	43	154	73	38.33	994.58
5						2		4	8.75
6		68				62	8	5.5	143.5
7		1.5	42	23.5		30.33	36	2.34	135.67
8		76	170	2	5	5	35	1.67	294.67
9					6	4.5	6		16.5
10		9	13	1.5		5.17		3.17	31.84
11		39.75	66	18.5	12.17	19.41		2	157.83
12		2	6	2	6	8	30	9.67	63.67
13		3				2	5.5	1.5	12
14		40.5					6	3	49.5
15		58.67					2	4	64.67
16							1		1
17		12						13	25
18			27						27
19		293.91	287.5	83.5	27.5	147.67	116	37.49	993.57
20		92.67	69	19	23.5	56	46	24.33	330.5
21		204	105.5	42.5	21	108.16	35.5	19.33	535.99
22		573.5	1020.83	204.5	6	405.66	170	37.5	2417.99
23		346.33	67	252.25	4	255.5	90	6.84	1021.92
24		4.5		25		3			32.5
25		34.5	13.5	10	9.5	21.5	12.5	0.67	102.17
26		77.5	86	41	5	102.75	5	17.84	335.09
Total Geral		2765	3152.83	1062	207.67	1859.64	976.5	312.85	10336.49

Figura 62: Ocupação dos setores (horas) por molde

Analisando as figuras 63 e 64 é possível constatar a ocupação dos diversos setores (em horas) em cada semana em função da produção dos moldes. A semana 2 representou a semana com a ocupação mais baixa pois nesta semana apenas estão representados 2 dias de produção. De seguida verificou-se um

Capítulo 5

aumento da ocupação devido à introdução de moldes até à semana 11 em que se observou uma pequena diminuição pelo facto de alguns moldes já estarem concluídos. Com exceção da retificação cilíndrica e do torneamento/corte, todos os outros setores atingiram o máximo de produção na semana 16 pois nesta fase encontravam-se 2 moldes de grandes dimensões em produção. A partir da semana referida anteriormente, a serralharia atingiu o máximo de ocupação pois são vários os moldes a serem produzidos ou reparados em simultâneo. Através da figura 64 é possível identificar qual o período de produção de cada molde, sendo perceptível em que semana se iniciou a produção/reparação e em qual terminou. Contudo, a fase inicial do período de observação pode contemplar um molde que já estivesse no final da produção, tendo iniciado a produção semanas anteriores à semana 2, enquanto na fase final do período de observação seja visível o início de produção de alguns moldes mas não é possível identificar em que momento foram concluídos.

Soma de Duração	Semana	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	Total Geral
Serviço																				
002 - Fresagem CNC		23.83	157.75	154.75	175.75	209.17	173.83	130.84	165.67	86.5	42.75	194.83	189.41	179.84	172.25	217.58	183.08	143.67	163.5	2765
003 - Electroerosão Penetração		93	146	130.5	101	114	159	134	127	260	80	101	60.5	300	202.33	386	276	376.5	106	3152.83
004 - Electroerosão por Fio		11	17.5	58	50.5	68.5	43	9.5	74	71.5	54	50.75	53	30	89	112.5	101.5	92.75	75	1062
005 - Rectificação Cilíndrica		6	4	16	11.5	18.67	26.5	11.5	21	13.5	13	4	11.5	7.5	2	14	12	6	9	207.67
006 - Rectificação Plana		15	66.83	96.08	130	102.74	60.01	67.08	101.33	71.25	50	48.17	140	143.67	163.83	184.16	181.66	130.83	107	1859.64
008 - Trabalho de Banca		14	93	36	25.5	32.5	48.5	67	57.5	41	48	44.5	44.5	54	63.5	95	51	92.5	68.5	976.5
009 - Torneamento/Corte		4.17	36.68	3	17	17.17	13	24	33.48	1.67	20.5	25.5	15.33	18.16	18.67	19.34	13.5	12	19.68	312.85
Total Geral		167	521.76	494.33	511.25	562.75	523.84	443.92	579.98	545.42	308.25	468.75	514.24	733.17	711.58	1028.58	818.74	854.25	548.68	10336.49

Figura 63: Ocupação (horas) dos setores em cada semana de observação

Soma de Duração	Semana	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	Total Geral
Sales Order Coded																				
1							13	39.59	192.84	185.67	157.5	238.09	215.16	358.33	173.08	109.33	1			1688.59
2					17	68.83	62.5	58.75	62.5	151.5	49.5	11.75	5	2						489.33
3												29.33	69.83	65.5	67.92	73.5	47.91	3	10.67	367.66
4		2.67	41.5	104.5	148.25	156.83	213.84	177.83	135.16	14										994.58
5																	0.75		8	8.75
6																13.5	36	26	68	143.5
7		25	109.67			1														135.67
8		88	188.67	17	1															294.67
9		4	3.5	9																16.5
10					1	5.5	6	9.67							4.67					31.84
11		4		41.91	38.5	52.92	19.5	1				3	2							157.83
12		18.5	43.17	2																63.67
13																0.5	1	10.5		12
14																3		7	39.5	49.5
15																3.5	0.5	39.67	21	64.67
16			1																	1
17																	11		14	25
18		11	16																	27
19		13.83	42.75	185.42	105.75	103.92	58.83	67.08	146.66	162.75	80	22.75	3.83							993.57
20			43	83	86	10.5	29.5	68.17	10.33											330.5
21			30.5	50.5	109.25	162.75	117	31.5	32.49		2									535.99
22											6	120.83	163.83	211.84	263.33	550.83	457.33	470.33	173.67	2417.99
23												24	77.5	129.75	211.58	174.5	202.25	202.34		1021.92
24			2						30.5											32.5
25									1	10.25	7	26.42	18	21	14	4.5				102.17
26										3	36	4.17		56.5	44.17	84.25	95.5	11.5		335.09
Total Geral		167	521.76	494.33	511.25	562.75	523.84	443.92	579.98	545.42	308.25	468.75	514.24	733.17	711.58	1028.58	818.74	854.25	548.68	10336.49

Figura 64: Ocupação dos moldes (horas) em cada semana de observação

Após o modelo de simulação estar completo, procedeu-se à avaliação do sistema atual com o intuito de se observar possíveis melhorias a serem implementadas num novo modelo de simulação.

Uma forma de avaliar a eficiência do modelo é através da comparação entre o tempo que as entidades estiveram no sistema em atividades de valor acrescentado e o tempo em que estas permaneceram à

espera para serem executadas as operações, pelo que constatou-se que as peças passam mais tempo no sistema à espera que se realize uma operação, como é o exemplo da peça representada na figura 65. O tempo médio de espera das peças no sistema e o respetivo tempo total no sistema é um valor aproximado, uma vez que os operadores estiveram ocupados noutros trabalhos, estes tempos poderão ser inferiores ao real.

Anel extracao molde1				
Time	Average	Half Width	Minimum	Maximum
Wait Time	980.55	(Insufficient)	980.55	980.55
Other Time	0.00	(Insufficient)	0.00	0.00
VA Time	36.2613	(Insufficient)	36.2613	36.2613
NVA Time	0.00	(Insufficient)	0.00	0.00
Total Time	1,017.70	(Insufficient)	1,017.70	1,017.70
Transfer Time	0.8880	(Insufficient)	0.8880	0.8880
Other	Average	Half Width	Minimum	Maximum
WIP	0.5146	(Insufficient)	0.00	1.0000
Number Out	1			
Number In	1			

Figura 65: Relatório de simulação do anel centragem da extração do molde 1

Uma vez que durante a observação os operadores realizaram outras operações além das observadas nos moldes em estudo, constatou-se que a percentagem de ocupação dos operadores e equipamentos calculada através do Arena® estava errada pois este contabilizou o tempo em que estes estavam ocupados noutros moldes. Como este processo não foi modelado, a ocupação assume o valor 0 e o Arena® utilizou-o para a ocupação média dos recursos, o que depois diminuiu significativamente o valor da ocupação. Para avaliar a ocupação dos recursos optou-se por construir gráficos no Arena® de forma a identificar o número de vezes que determinado recurso foi utilizado em cada dia ao longo do tempo de simulação. Para construir os gráficos foi necessário criar um submodelo, como o representado na figura 66. Utilizou-se um bloco *Create* em que entrou uma entidade no sistema em cada dia da simulação e após essa entidade passar no bloco *Record*, este gravou o número de vezes que o operador em questão foi utilizado por dia. De seguida, colocou-se um bloco *Assign* onde se criou uma variável denominada “sem_ant_corte”, no caso de a análise ser em relação ao operador responsável pelo corte, que atualiza os valores da ocupação por dia ao subtrair a ocupação dos dias anteriores, terminando o submodelo com um bloco *Dispose*.

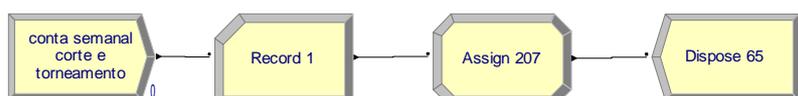


Figura 66: Submodelo para contagem da ocupação do operador de torneamento e corte

Através da construção de gráficos no Arena® foi possível observar o comportamento dos recursos ao longo do tempo de simulação e identificar em que momentos estavam ocupados com os moldes estudados. Nos intervalos de tempo cuja ocupação do recurso assumiu o valor 0 indica que o mesmo estava ocupado na produção ou reparação de outros moldes. A figura 67 representa a ocupação do

operador responsável pelo torneamento e corte e é possível verificar que a utilização deste operador centrou-se no início da produção dos moldes observados. Como este operador também foi utilizado na furação rápida, os picos mais baixos observados podem indicar que esteve ocupado neste setor. Uma parte das ocupações deste operador deveu-se ao transporte das peças entre o setor de corte e torneamento, pois embora estes setores estejam ladeados, existe uma parede que os divide e o operador necessitava de percorrer o setor de fresagem para poder ir ao setor de torneamento.

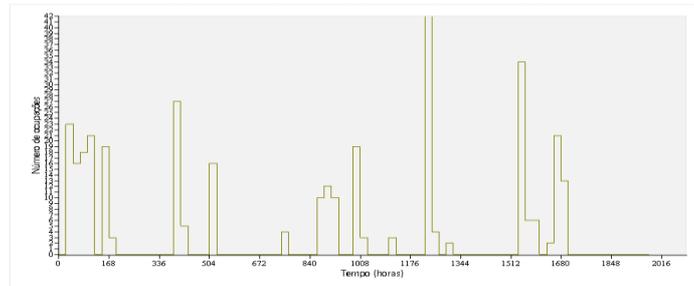


Figura 67: Ocupação diária do operador de torneamento e corte

O operador de eletroerosão fio teve a sua atividade dispersa ao longo do tempo pois a sua atividade só se iniciou, na maioria das vezes, algum tempo após as peças já terem entrado no sistema (figura 68). Além da eletroerosão fio, este operador também foi responsável pela furação rápida e verificou-se que este operador é ocupado durante tempos consideráveis. Em análise dos relatórios de simulação, concluiu-se que o setor de eletroerosão fio foi um dos que apresentou elevados tempos de espera.

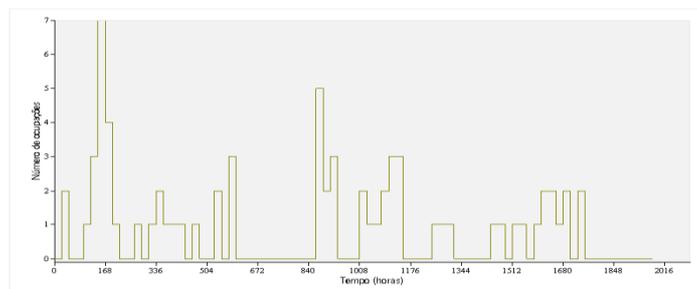


Figura 68: Ocupação diária do operador de eletroerosão fio

Comparando os fresadores 1 (figura 69) e 2 (figura 70) que são responsáveis pelas mesmas fresadoras em turnos diferentes, verifica-se que o fresador 2 é menos utilizado do que o fresador 1. Isto deveu-se ao facto de o fresador 2 estar numa fase inicial e não ser utilizado para executar algumas ordens de trabalho, nomeadamente a maquinação de peças que apresentavam geometria complexa. Os picos observados na ocupação do fresador 3 (figura 71) referem-se à maquinação dos eléctrodos e como este também foi utilizado na maquinação de acessórios quando os fresadores 1 e 2 estavam ocupados com outras tarefas, os picos de utilização menos acentuados devem-se a estas tarefas. Em relação ao fresador

4 (figura 72), embora o número de ocupações seja inferior em relação aos outros, este foi o mais ocupado pois os trabalhos executados exigiam que este estivesse mais presente nas operações.

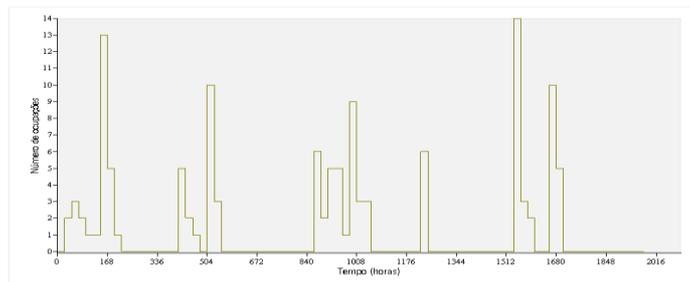


Figura 69: Ocupação diária do fresador 1

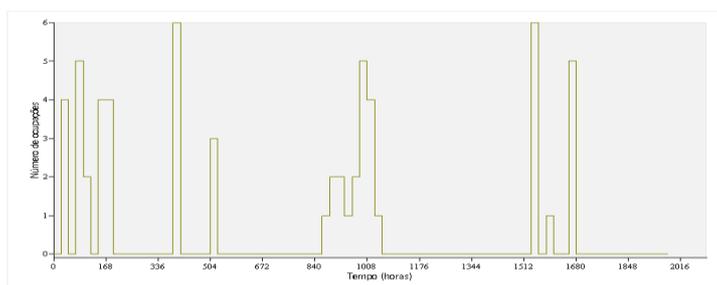


Figura 70: Ocupação diária do fresador 2

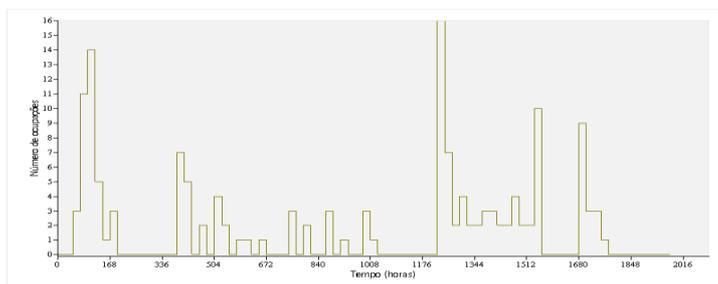


Figura 71: Ocupação diária do fresador 3

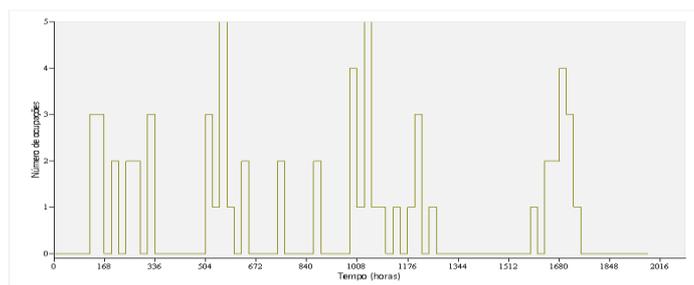


Figura 72: Ocupação diária do fresador 4

Quanto ao setor de eletroerosão penetração, este caracterizou-se como sendo um dos setores com maiores tempos de espera e verificou-se que o operador de eletroerosão penetração 1 (figura 73) passou mais tempo ocupado ao longo dos dias. Isto deveu-se ao facto de estar sozinho durante um turno e ter de fazer o trabalho sozinho, enquanto os outros operadores estavam no mesmo turno e dividiam o

trabalho entre eles. Comparando os operadores de eletroerosão penetração 2 (figura 74) e 3 (figura 75), o operador 2 registou um maior número de ocupações, o que indica que ter 2 operadores no mesmo turno não traz nenhuma melhoria no processo.

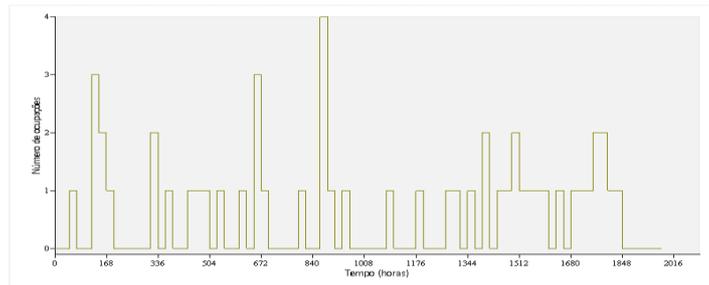


Figura 73: Ocupação diária do operador de eletroerosão penetração 1

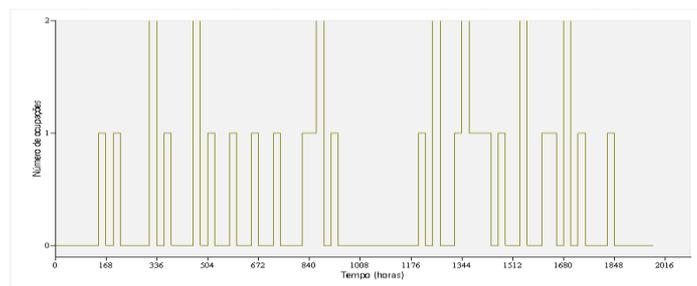


Figura 74: Ocupação diária do operador de eletroerosão penetração 2

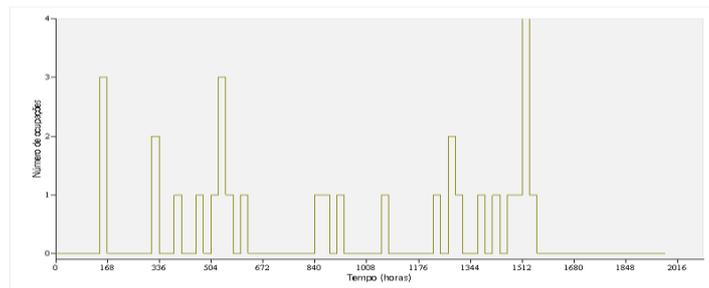


Figura 75: Ocupação diária do operador de eletroerosão penetração 3

O trabalho dos operadores de banca é disperso ao longo do tempo, ao contrário, por exemplo, do operador de torneamento de corte. Ao longo da produção, foram várias as vezes que as peças foram a este setor para serem executadas diversas operações, daí a dispersão na ocupação dos operadores. O operador de banca 1 (figura 76) foi o menos ocupado nos moldes observados pois os restantes operadores executaram o trabalho durante a manhã e durante a tarde, este esteve ocupado com outros moldes que não foram observados. Analisando as figuras 77, 78 e 79 conclui-se que não existiram diferenças significativas entre os outros operadores de banca.

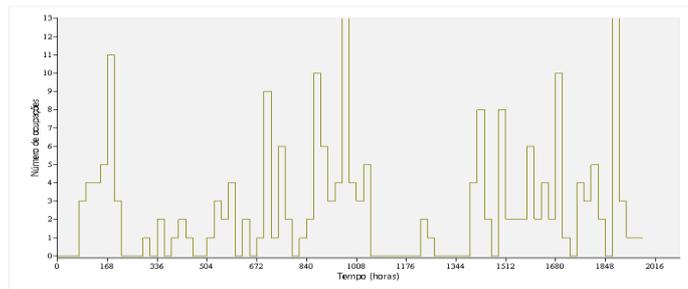


Figura 76: Ocupação diária do operador de banca 1

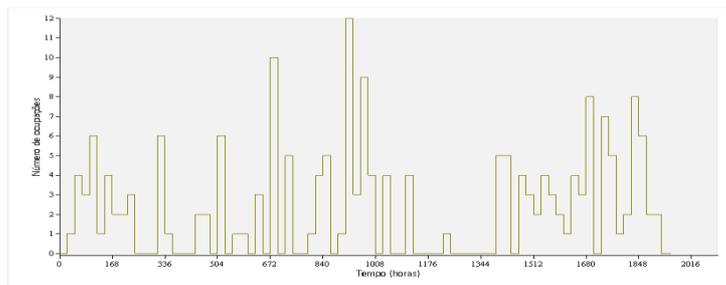


Figura 77: Ocupação diária do operador de banca 2

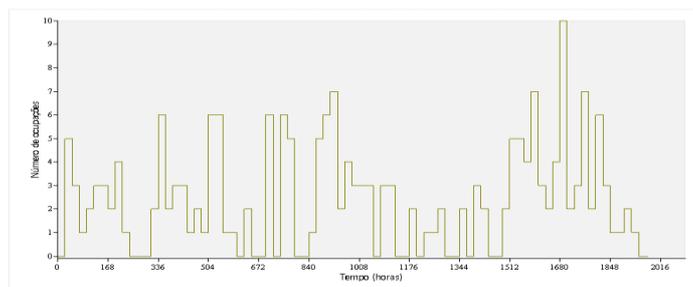


Figura 78: Ocupação diária do operador de banca 3

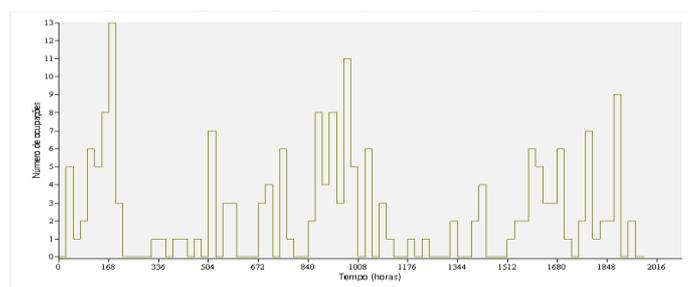


Figura 79: Ocupação diária do operador de banca 4

Na retificação plana, os retificadores 1, 2 e 3 estiveram responsáveis pela maioria das tarefas, existindo algumas restrições na sua utilização, por exemplo, a retificação de estrutura foi apenas executada pelos retificadores 2 e 3 e a retificação de peças num determinado equipamento (AMADA) foi realizada pelos retificadores 1 e 2. Relativamente aos retificadores 1 (figura 80) e 2 (figura 81), estes foram ocupados de igual forma. Comparando estes 2 retificadores com o retificador 3, no total do tempo de simulação o retificador 3 (figura 82) foi o menos ocupado porque, na maioria das vezes, as peças enviadas para

têmpera foram retificados durante a manhã e nesta altura do dia estavam presentes os retificadores 1 e 2. Uma vez que o retificador 3 só se encontrava na serralharia a partir das 14h, quando este começava o trabalho as peças temperadas já estavam retificadas, ficando este mais ocupado com a retificação de estrutura. O retificador 4 (figura 83) foi o único responsável pela retificação cilíndrica e, no setor de retificação, foi menos ocupado uma vez que os tempos de execução na retificação cilíndrica são inferiores comparativamente com a retificação plana e na retificação plana apenas foi utilizado em tarefas mais simples, nomeadamente, na retificação da espessura de alguns acessórios ou no corte de peças compradas.

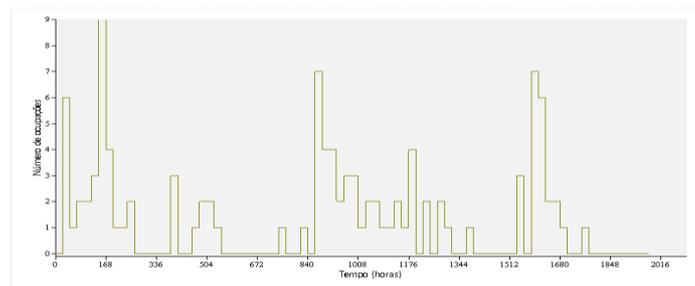


Figura 80: Ocupação diária do retificador 1

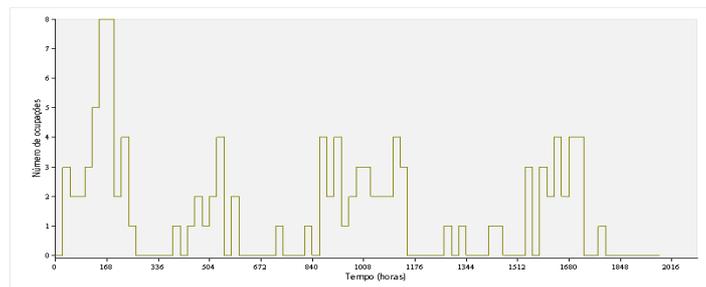


Figura 81: Ocupação diária do retificador 2

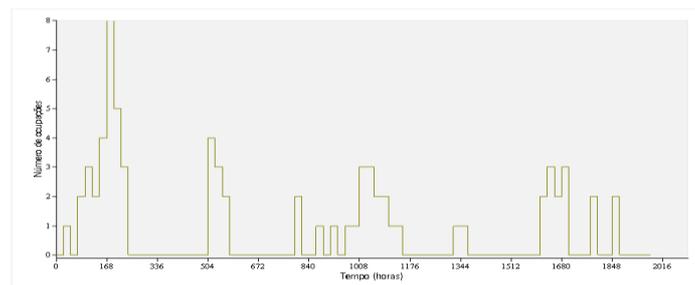


Figura 82: Ocupação diária do retificador 3

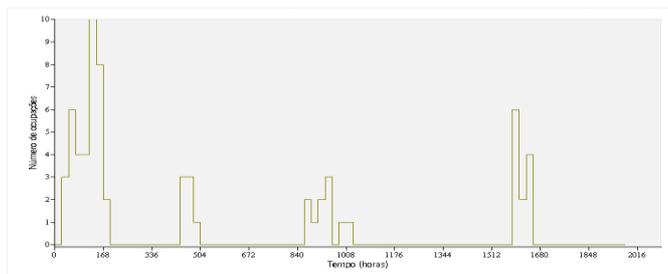


Figura 83: Ocupação diária do retificador 4

Na figura 84 é possível identificar quais os operadores e equipamentos mais utilizados ao longo da simulação, sendo perceptível o elevado número de vezes que o operador de torneamento e corte e os operadores de banca foram utilizados.

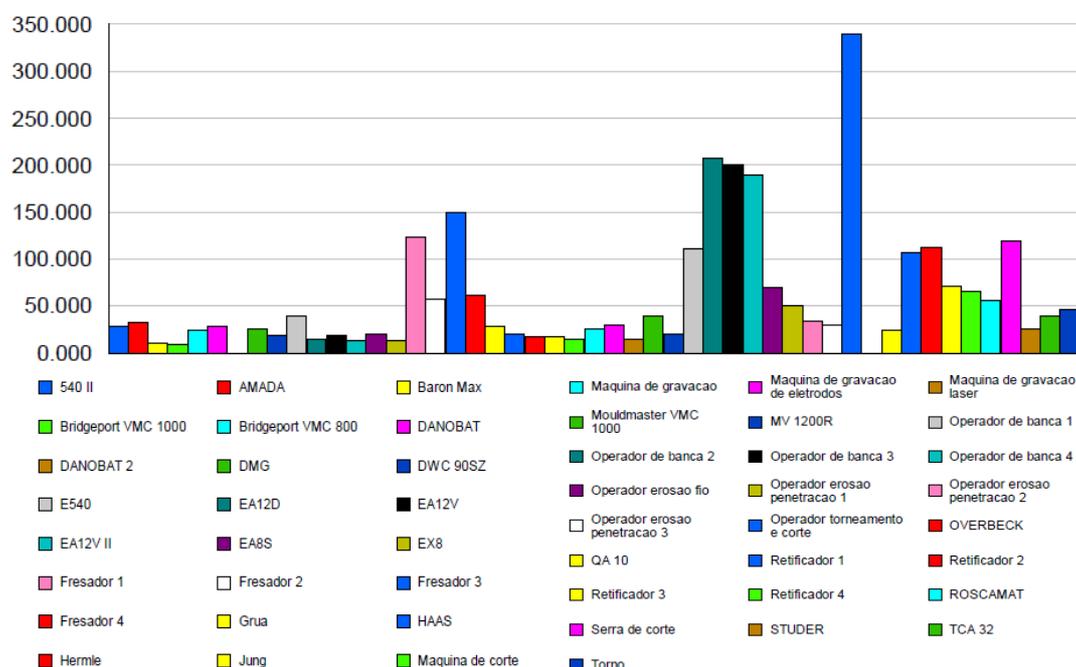


Figura 84: Número total de utilizações de cada recurso

5.4 Proposta e análise das melhorias

Um dos problemas observados estava relacionado com o *layout* da empresa, mais precisamente no setor de corte e torneamento. Estes setores têm em comum o facto de o mesmo operador ser responsável pelos processos que ocorrem nestes setores. Embora estes setores estivessem próximos, o operador quando corta uma peça que depois deve ser torneada, tem de percorrer uma distância considerável até chegar à zona de torneamento. O facto de ter de percorrer esta distância também prejudicava o registo de tempos de produção relacionados com o corte, pois em vários casos, o operador colocava uma peça a cortar e dirigia-se para a zona de torneamento. Entre o tempo de deslocação e de permanência na zona de torneamento, o corte da peça terminava e o operador não conseguia ver em que momento. Isto

levava a que a peça cortada permanecesse algum tempo no equipamento à espera que o operador fosse retirá-la. Caso não existisse a parede a dividir os setores (Anexo IX), as deslocações do operador entre os setores diminuía consideravelmente e o tempo que ele passava nesta atividade era rentabilizado no corte e torneamento. A melhor solução seria centrar a atividade deste operador no mesmo local e colocar o torno e a serra de corte no mesmo setor e, assim, o operador controlava melhor o tempo de corte das peças e o tempo de espera nestas zonas diminuiria (figura 85).

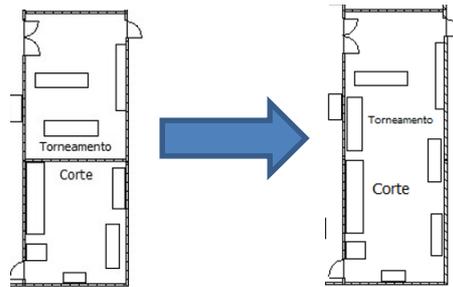


Figura 85: Alteração das zonas de corte e torneamento

No Arena® realizou-se um cenário com vista a analisar a influência da alteração deste setor. Para isso, diminuiu-se o tempo que o operador usava para percorrer a distância entre as zonas de corte e torneamento. Relativamente ao tempo de espera no setor de torneamento, em análise da tabela 9 verificou-se que existem melhorias significativas embora exista um aumento no tempo de espera relativamente aos moldes 1 e 2 e isto poderá dever-se à ocupação do operador numa outra operação. Contudo este aumento não aumentou o tempo de espera e o tempo total das peças no sistema produtivo. Após a simulação deste cenário verificou-se que o tempo de espera das peças diminuiu (tabela 10) bem como o tempo total das peças no sistema. Analisando a tabela 11 constatou-se que o tempo de espera no corte diminuiu em todos os moldes, com exceção do molde 3.

Tabela 9: Tempo de espera (h) de cada molde no setor de torneamento na situação real e na situação com a proposta de melhoria

Operação	Tempo de espera (h) na situação real	Tempo de espera (h) com a proposta de melhoria
Torneamento_peças_molde1	1.1672	3.8307
Torneamento_elérodos_molde1	3.5481	2.6559
Torneamento_molde2	0.57	0.6648
Torneamento_molde3	8.745	4.075
Torneamento_molde4	2.981	2.9079

Tabela 10: Tempo de espera (h) de peças torneadas na situação real e na situação com a proposta de melhoria

Peça	Tempo de espera (h) na situação real	Tempo de espera (h) com a proposta de melhoria
Anel_extração_molde1	980.55	938.99
Anel_extração_molde2	379.98	348.70
Anel_extração_molde3	257.38	254.23
Anel_extração_molde4	831.92	784.38
Anel_injeção_molde1	992.42	950.9
Anel_injeção_molde2	386.57	355.28
Anel_injeção_molde3	262.02	258.84
Anel_injeção_molde4	837.82	790.34
Anilhas_molde3	261.80	258.62

Tabela 11: Tempo de espera (h) de algumas operações de cada molde no setor de corte na situação real e na situação com a proposta de melhoria

Molde	Tempo de espera (h) na situação real	Tempo de espera (h) com a proposta de melhoria
Molde 1	23.0356	21.2647
Molde 2	13.0770	11.5248
Molde 3	10.8475	15.3781
Molde 4	39.7595	39.5150

Quanto à fresagem, embora o fresador 2 não executasse todos os trabalhos do fresador 1, simulou-se um cenário em que o fresador 2 estava disponível para maquinar, nomeadamente, os postigos do molde 2 e 4. A avaliação deste cenário foi feita através da análise do tempo total de espera das peças no sistema quando estas não eram maquinadas pelo fresador 2 e quando este já pode maquinar as mesmas (tabela 12). Em análise das figuras verifica-se que existe uma diminuição no tempo de espera das peças pois o tempos de espera nesta atividade diminui e, conseqüentemente, uma diminuição do tempo total das mesmas no sistema produtivo.

Tabela 12: Tempo de espera (h) de peças fresadas na situação real e na situação com a proposta de melhoria

Peça	Tempo de espera (h) na situação real	Tempo de espera (h) com a proposta de melhoria
Postiço_100_molde4	726.32	678.98
Postiço_200_molde4	731	683.63
Postiço_100A_molde2	385.87	358.36
Postiço_200A_molde2	319.61	292.01

Outro problema observado foram os elevados tempos de espera da retificação cilíndrica pelo facto de ter apenas retificador 4 como responsável. Simulou-se a utilização de todos os retificadores na retificação cilíndrica e este cenário não é eficaz pois aumentou o tempo de total das peças no sistema bem como o respetivo tempo de espera e diminuiu a ocupação do retificador 4. Esta situação deveu-se ao facto de a maioria dos retificadores estarem ocupados na retificação de cilíndrica, dando prioridade a este setor, e existindo acumulação de trabalho na retificação plana, pois o retificador 4 não executa todos os trabalhos neste setor. Face a isto, testou-se um cenário em que foi criado um novo set denominado “Retificadores cilíndricos” onde foi introduzido o retificador 3 a auxiliar as operações de retificação cilíndrica. Ao introduzir este retificador, foi necessário especificar que as retificadoras cilíndricas não estavam disponíveis durante o horário de trabalho deste retificador. Caso estivessem disponíveis até às 22:30h, que é quando termina o dia deste retificador, acontecia que o retificador passava uma grande parte do tempo disponível a retificar peças na retificação cilíndrica e o retificador 4 estava menos ocupado. Com isto, colocou-se a disponibilidade das retificadoras cilíndricas até por volta das 18h para que a utilização do retificador 3 neste setor ocorra, em grande parte, juntamente com a utilização do retificador 4 de forma a poder ajudá-lo sem prejudicar os outros trabalhos. Quanto à retificação plana, verificou-se que o tempo de espera diminuiu pois o retificador 4 não passa tanto tempo na retificação cilíndrica, podendo dar mais auxílio nas operações que pode executar. Em análise da tabela 13 verificou-se uma diminuição dos tempos de espera neste setor, sendo mais perceptível a diminuição dos tempos de espera das peças, pois estas eram encaminhadas para os postos seguintes mais rapidamente. Observando a tabela 14 verifica-se que o tempo de espera das peças diminui com a alteração na zona de retificação cilíndrica.

Tabela 13: Tempo de espera (h) de cada molde no setor de retificação cilíndrica na situação real e na situação com a proposta de melhoria

Operação	Tempo de espera (h) na situação real	Tempo de espera (h) com a proposta de melhoria
Preparação da retificação cilíndrica_molde1	8.3751	0
Preparação da retificação cilíndrica_molde2	0.1704	0
Preparação da retificação cilíndrica_molde3	0.2947	0.08756
Preparação da retificação cilíndrica_molde4	10.9787	1.1287

Tabela 14: Tempo de espera (h) de peças retificadas na situação real e na situação com a proposta de melhoria

Peça	Tempo de espera (h) na situação real	Tempo de espera (h) com a proposta de melhoria
Suporte_Guia_molde4	968.26	887.65
Suportes_012_molde1	1137.7	1105.72
Suportes_012B_molde3	394.24	316.41

Relativamente ao setor de eletroerosão penetração procedeu-se à simulação de 2 cenários pois verificou-se que o operador do turno da manhã estava demasiado ocupado e não conseguia responder a todas as solicitações para colocar todos os equipamentos a funcionar.

No primeiro cenário simulou-se a alteração do horário de um dos operadores do turno da tarde para um horário em que estivesse presente no turno da manhã e da tarde, por exemplo, entre as 8:30h – 17:30h. Comparando os tempos de espera de algumas peças que passaram no processo de eletroerosão penetração (tabela 15) na situação atual com os tempos de espera com alteração do horário observou-se que, no geral, existem diferenças, com exceção das peças do molde 2 que permaneceram um pouco mais no sistema. No outro cenário simulou-se a introdução de um operador no turno da manhã, sendo que neste caso as diferenças são mais significativas. Em relação aos tempos de espera no setor, em análise da tabela 16 verificou-se que existem melhorias nos 2 cenários, embora o último cenário seja o melhor. Em relação à ocupação dos operadores, o cenário com alteração do horário fez com que o outro operador do turno da tarde estivesse mais ocupado pelo facto de estar sozinho no setor depois das 17:30h.

Tabela 15: Tempo de espera (h) de peças sujeitas à eletroerosão penetração na situação real e na situação com as propostas de melhoria

Peça	Tempo de espera (h) na situação real	Tempo de espera (h) com a proposta de melhoria – alteração de horário	Tempo de espera (h) com a proposta de melhoria – introdução de um operador
Balances_100E_molde4	818.56	803.41	780.20
Balances_200C_molde4	896.03	880.89	857.64
Postiço_100_1_molde1	860.27	838.9	811.97
Postiço_100_2_molde1	863.68	842.16	815.24
Postiço_100_molde2	412.04	449.39	403.26
Postiço_100A1_molde4	955.66	940.5	917.3

Capítulo 5

Tabela 16: Tempo de espera (h) de algumas operações de cada molde no setor de eletroerosão penetração na situação real e na situação com as propostas de melhoria

Operação	Tempo de espera (h) na situação real	Tempo de espera (h) com a proposta de melhoria – alteração de horário	Tempo de espera (h) com a proposta de melhoria – introdução de um operador
Preparação da erosão penetração do conjunto 100_molde1	121.23	127.16	96.0814
Preparação da erosão penetração do conjunto 200A e 200B_molde1	59.1253	57.1194	107.62
Preparação da erosão penetração do conjunto 200B_molde1	90.5058	65.4955	49.9142
Preparação da erosão penetração do conjunto 200_molde4	52.3285	51.6360	43.9028
Preparação da erosão penetração dos postigos 200A_molde2	147.61	129.95	70.2197

O setor de eletroerosão fio também apresentou elevados tempos de espera e, como foi referido na análise da situação atual, o operador foi ocupado demasiadas vezes ao longo do modelo e, face a esta observação, testaram-se 2 cenários em que num cenário introduziu-se um operador num horário igual ao do operador já existente no setor e no outro cenário também se utilizou mais um operador mas a trabalhar por turnos. Neste último cenário, existiu um operador no turno 6h – 14:30h e o outro operador esteve no turno 14h – 22:30h. Analisando a tabela 17 concluiu-se que o melhor cenário seria aquele em que os operadores trabalham por turno. No cenário em que os operadores estavam com o mesmo horário, o tempo de espera no setor aumentou pois não existiam equipamentos suficientes para o número de operadores a trabalharem ao mesmo tempo. Além disso, este cenário é excluído pois envolveria elevados custos para a empresa, nomeadamente na aquisição de equipamentos. Em relação ao cenário onde se utilizaram operadores a trabalhar por turnos, este revelou-se como sendo o melhor cenário comparativamente com o anterior e a situação atual pois, no geral, verificou-se a diminuição dos tempos de espera neste setor.

Tabela 17: Tempo de espera (h) de algumas operações de cada molde no setor de eletroerosão fio na situação real e na situação com as propostas de melhoria

Operação	Tempo de espera (h) na situação real	Tempo de espera (h) com a proposta de melhoria – funcionamento por turnos	Tempo de espera (h) com a proposta de melhoria – 2 operadores no mesmo turno
Preparação da eletroerosão fio2 dos balancés 100E_molde4	1.8178	0	0.3163
Preparação da eletroerosão fio2 dos balancés 200C_molde4	3.8568	0.2060	15.1730
Preparação da eletroerosão fio das hastes balancés_molde1	25.868	16.4042	29.3042
Preparação da eletroerosão fio_molde2	8.1037	0.1670	7.0956
Preparação da eletroerosão fio_molde4	6.3697	1.3174	7.8526
Preparação da eletroerosão fio do conjunto 100_molde4	39.8072	13.6482	18.0215
Preparação da eletroerosão fio 2 dos postigos 200C _molde1	26.0705	6.4493	44.5166

Quanto à zona de banca simulou-se um cenário com a alteração do horário do operador de banca 1 para um turno das 8:30 – 17:30h, de forma a avaliar o impacto da alteração. Contudo constatou-se que o tempo de espera das peças no sistema aumenta e a ocupação dos outros operadores diminui, pelo que esta alteração não é favorável.

O cenário ideal seria aquele em que todas as melhorias fossem simuladas em simultâneo, nomeadamente, modificar a zona do corte e torneamento, colocar o fresador 2 disponível para todas as ordens de trabalho e o retificador 3 e a ajudar o retificador 4, alterar o horário de um dos operadores de eletroerosão penetração do turno da tarde e colocar o setor de eletroerosão fio a funcionar por turnos, com introdução de um operador. Uma vez que neste cenário já existe a contratação de um operador para o setor de eletroerosão penetração, optou-se em, ao contrário de introduzir um operador no turno da manhã na eletroerosão penetração, alterar o horário de um dos operadores do turno da tarde. Face à simulação deste cenário, as diferenças no tempo total no sistema de cada molde no sistema real comparativamente são evidentes (tabela 18). Tal como já foi referido, o tempo total de produção dos moldes no sistema real pode revelar alguma diferença em relação ao tempo que foi realmente utilizado

pois os operadores estiveram ocupados com outras ordens de trabalho e no modelo simulado são contemplados os fins de semana e feriados. Face aos resultados conclui-se que o cenário ideal seria aquele com todas as melhorias implementadas pois as filas de espera nos processos diminuí e os moldes são concluídos mais rapidamente.

Tabela 18: Diferenças entre o tempo total no sistema (horas) de cada molde na situação real e após a introdução de melhorias

Molde	Tempo total no sistema real (horas)	Tempo total após alterações (horas)
Molde 1	1137.7	1071.47
Molde 2	521.45	442.07
Molde 3	394.24	334.06
Molde 4	968.26	735.44

6. CONCLUSÕES FINAIS E TRABALHO FUTURO

A construção do modelo ocupou uma grande parte do tempo devido à elevada complexidade intrínseca ao sistema produtivo, nomeadamente, 93 sequências de produção, 178 entidades diferentes, 49 recursos, 15 horários de trabalho e 22 conjuntos de recursos. A modelação do sistema revelou-se como uma tarefa bastante demorada devido à quantidade de informação a ser introduzida no modelo. Em várias situações, o modelo estava numa fase avançada mas devido às restrições existentes no modelo, por exemplo, a escolha dos recursos disponíveis para executar uma tarefa, implicava que todos os *Sets* fossem revistos nas atividades (*Process*), tarefa minuciosa e demorada.

O principal objetivo norteou-se pela melhoria dos processos produtivos com recurso ao *software* Arena®, com identificação dos pontos de estrangulamento no sistema que levavam ao aparecimento de filas de espera nos setores, ocupação dos recursos, tempo total de produção e de percurso das peça, bem como os respetivos tempos de espera. Embora as taxas de ocupação obtidas no Arena® sejam muito baixas e, aparentemente, não estejam em conformidade com o observado, o modelo foi cuidadosamente validado e conclui-se que existe uma margem de melhoria significativa, nomeadamente na resposta da serralharia face aos pedidos dos clientes. No modelo não são contemplados os tempos de retrabalho, paragens dos equipamentos para manutenção, falhas dos operadores e o tempo utilizado em reparações. A sequência de ações necessárias à produção de um molde é muito irregular e descontínua, sendo o uso de cada setor muito intervalado. A utilização de uma mais avançada programação da produção, poderia também mitigar os tempos perdidos entre tarefas.

Durante a observação verificou-se que, por vezes, os tempos de produção registados diferiam um pouco daqueles que eram observados, sendo que esta diferença de tempos não fornece aos responsáveis os elementos de qualidade para efetuarem uma melhor gestão da produção. O registo dos tempos de produção não era diário e, por vezes, existiam operadores a introduzir os tempos de produção de vários dias ou então operadores a registar tempos de um turno onde não estiveram presentes. A maior incidência dos registos de produção ocorre entre as 12h e as 15h, que coincide com a paragem de almoço e a troca de turnos em alguns setores. Quanto ao controlo desses registos de tempos por parte dos responsáveis verificou-se que não era diário.

Existiam diversas movimentações significativas realizadas pelo operador de torneamento e corte pois este trabalhava em vários locais da serralharia pelo que tinha que se deslocar para levar as peças de um posto de trabalho para outro, sendo este um exemplo de atividade que não agrega valor. A colocação destes setores no mesmo local faz com que o controlo das duas operações seja mais rigoroso,

nomeadamente, no controlo dos tempos de produção. Na retificação plana existia apenas um operador responsável (retificador 4) pela retificação cilíndrica, sendo que na maioria das vezes este necessitava da ajuda de outro operador e executava as tarefas num tempo superior ao estimado. Através do modelo de simulação constatou-se que neste setor existiam elevados tempos de espera e, de forma a aumentar a capacidade de resposta deste setor, colocou-se o retificador 3 a ajudar o retificador 4 e verificou-se que o tempo total das peças no sistema diminuiu em consequência da diminuição do tempo de espera neste setor.

Quanto aos tempos de espera, observou-se que o setor de eletroerosão fio e eletroerosão penetração eram os setores com tempos de espera mais elevados. Relativamente à eletroerosão penetração, simulou-se um cenário com alteração do horário de um dos operadores do turno da tarde e outro com introdução de um operador no turno da manhã. O cenário realizado com a introdução de um operador revelou-se como sendo o que apresenta melhorias significativas embora implique a contratação de um novo operador. Relativamente ao outro cenário com alteração do horário de um dos operadores, este também apresenta melhorias, embora inferiores às do outro cenário, mas aumenta a ocupação de um dos operadores. Uma vez que o modelo contempla uma parte do que foi feito na serralharia, a longo prazo, o último cenário poderá revelar-se como sendo o melhor e sem a necessidade de contratar mais um operador. Na eletroerosão fio foram testados 2 cenários em que num existiam 2 operadores com o mesmo horário e no outro existiam 2 operadores a trabalharem por turnos. Concluiu-se que o primeiro cenário envolvia custos elevados pois com 2 operadores no mesmo horário era necessário ter mais equipamentos, visto que os tempos de espera no setor aumentaram. Apesar do melhor cenário com vista a melhoria do setor envolver a contratação de novos operadores, esta é uma solução que a longo prazo traz benefícios pois aumenta a capacidade do setor face às solicitações de trabalho e, assim, responder mais rapidamente aos pedidos dos clientes.

No caso da fresagem, o fresador 2 não executava todos os trabalhos comparativamente com o fresador 1, contudo, simulou-se como seria o comportamento do sistema caso o fresador 2 estivesse disponível para todos os serviços e verificou-se que o tempo total das peças no sistema diminuiu bem como o tempo de espera nos processos que anteriormente não executava. Neste setor os tempos de *setup* são elevados pelo que se justifica a colocação de um posto de controlo após este processo. Em todas as reparações observadas, constatou-se que o tempo de *setup* era muito superior ao tempo da reparação.

Como cenário ideal seria aquele com todas as melhorias implementadas pois concluiu-se que o tempo total que os moldes permanecem no sistema diminuiu.

Num futuro próximo recomenda-se que seja colocado um posto de controlo após a fresagem. Uma vez que este processo acarreta elevados tempos de *setup*, seria fundamental colocar um responsável a controlar todas as peças que são fresadas, principalmente quando essas peças são placas de aperto, postigos ou estrutura pois são estas peças que mais contribuem para a elevada taxa de *setup* no setor. Antes das peças serem retiradas das fresadoras, o responsável teria de verificar se as mesmas estão conforme o pedido nos desenhos. Após a verificação, as peças podem avançar para o setor seguinte. Este posto de controlo evita que só sejam detetados erros apenas quando as peças chegam ao setor seguinte. A colocação deste posto de controlo implicaria que o responsável estivesse mais presente nas operações e com disponibilidade para controlar todas as peças fresadas. Uma vez que o responsável está encarregue por um número elevado de tarefas que o mantém ocupado durante muito tempo, na maioria das vezes este não tem tempo para estar junto dos operadores e, conseqüentemente, impossibilitado de ver eventuais erros que possam estar a ser cometidos pelos operadores. Com isto, seria necessário colocar uma pessoa a ajudá-lo nas suas tarefas, sendo que esta pessoa também estaria disponível para verificar os tempos de produção diariamente e compará-los com os registados no papel pelos operadores. Com o aumento da disponibilidade do responsável, além da fresagem, a supervisão nas outras operações aumentaria. Serve como exemplo a retificação de uns postigos do molde 3 que anteriormente foram cortados na eletroerosão fio que durante a retificação plana ficaram inutilizados e o responsável só tomou conhecimento passado um tempo considerável, em que, mais uma vez, se realizam tarefas sem qualquer valor acrescentado, com ocupação supérflua de mão-de-obra.

Em relação aos tempos de produção serem diferentes dos previstos, propõe-se que no futuro sejam desenvolvidos modelos de previsão de tempos de produção.

Outra melhoria que a empresa poderá implementar está relacionada com o consumo dos equipamentos que será uma forma de controlar se os equipamentos estão a funcionar ou parados. O controlo consiste em utilizar uns dispositivos que são colocados nos equipamentos que se pretende controlar a produção, sendo que estes dispositivos ligam-se remotamente ao contador e transmite os dados para um computador. É possível considerar a utilização de um equipamento padronizado de controlo que a EDP disponibiliza desde 2014 – re:dy -, acessível por menos de cinquenta euros por máquina.

Uma vez que a produção de moldes é um sistema dinâmico e bastante complexo, a produção do setor é programada mas com detalhe limitado. Face a isto, propõe-se que a programação da produção seja realizada em função do dia, ou seja, para cada operador/equipamento deve ser discriminado o que este deve fazer diariamente, sendo que esta alteração pode melhorar a utilização dos recursos e identificar quais as limitações existentes na produção

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Bagdasaryan, A. (2011). Discrete dynamic simulation models and technique for complex control systems. *Simulation Modelling Practice and Theory*, 19(4), 1061-1087. doi:10.1016/j.simpat.2010.12.010
- Banks, J., & Gibson, R. R. (1997). Selecting simulation software. *lie Solutions*, 29(5), 30-32.
- Brito, A. M. (2000). *Moldes de injeção para termoplásticos*. Departamento de Engenharia de Polímeros. Universidade do Minho.
- Bruch, J., & Bellgran, M. (2013). Characteristics affecting management of design information in the production system design process. *International Journal of Production Research*, 51(11), 3241-3251. doi:10.1080/00207543.2012.755273
- Callister, W. D. (2007). *Materials Science and Engineering, An Introduction* (7 ed.): John Wiley & Sons, Inc.
- Carson, J. S. (2005). Introduction to modeling and simulation. *Proceedings of the 2005 Winter Simulation Conference, Vols 1-4*, 16-23. doi:10.1109/wsc.2005.1574235
- Carvalho, J. D. (2008). *Introdução aos Sistemas de Produção*. Universidade do Minho, Escola de Engenharia.
- CEFAMOL - Associação Nacional da Indústria de Moldes. (2015). www.cefamol.pt, consultado no dia 26/10/2015.
- CELOPLÁS – Plásticos para a Indústria, S.A. (2015). www.celoplas.pt, consultado no dia 15/01/2015
- Chance, F., Robinson, J., & Fowler, J. (1996). Supporting manufacturing with simulation: Model design, development, and deployment. *1996 Winter Simulation Conference Proceedings*, 114-121.
- Chiaverini, V. (1986). *Tecnologia mecânica - Processos de Fabricação e Tratamento* (McGraw-Hill Ed. 2 ed. Vol. II).
- Dias, L.S. ; Pereira, G.B.; Vik, P. and Oliveira, J. 2011. Discrete Simulation Tools Ranking – a Commercial Software Packages comparison based on popularity. ISC 2011-9th Industrial Simulation Conference, June 6-8, 2011, Venice, Italy, pp. 5-11
- Ferreira, I. S. C. (2001). *Caracterização da indústria de moldes na região da Marinha Grande, na ótica da Qualidade.*, Universidade do Porto.
- Guneri, A. F., & Seker, S. (2008). The use of Arena simulation programming for decision making in a workshop study. *Computer Applications in Engineering Education*, 16(1), 1-11. doi:10.1002/cae.20182

- Hicks, B. J. (2007). Lean information management: Understanding and eliminating waste. *International Journal of Information Management*, 27(4), 233-249. doi:10.1016/j.ijinfomgt.2006.12.001
- Hlupic, V., & Paul, R. J. (1996). Methodological approach to manufacturing simulation software selection. *Computer Integrated Manufacturing Systems*, 9(1), 49-55. doi:10.1016/0951-5240(95)00037-2
- Ho, K., & Newman, S. (2003). State of the art electrical discharge machining (EDM). *International Journal of Machine Tools & Manufacture*, 43(13), 1287-1300. doi:10.1016/S0890-6955(03)00162-7
- Jahangirian, M., Eldabi, T., Naseer, A., Stergioulas, L. K., & Young, T. (2010). Simulation in manufacturing and business: A review. *European Journal of Operational Research*, 203(1), 1-13. doi:10.1016/j.ejor.2009.06.004
- Klingstam, P., & Gullander, P. (1999). Overview of simulation tools for computer-aided production engineering. *Computers in Industry*, 38(2), 173-186. doi:10.1016/S0166-3615(98)00117-1
- Law, A., McComas, M., Andradottir, S., Healy, K., Withers, D., & Nelson, B. (1997). Simulation of manufacturing systems. *Proceedings of the 1997 Winter Simulation Conference*, 86-89. doi:10.1145/268437.268454
- LAW, A., MCCOMAS, M., NELSON, B., KELTON, W., & CLARK, G. (1991). SECRETS OF SUCCESSFUL SIMULATION STUDIES. *1991 Winter Simulation Conference Proceedings*, 21-27. doi:10.1109/WSC.1991.185587
- Law, A., McComas, M., Peters, B., Smith, J., Medeiros, D., & Rohrer, M. (2001). How to build valid and credible simulation models. *Wsc'01: Proceedings of the 2001 Winter Simulation Conference, Vols 1 and 2*, 22-29.
- Lima, R., Sousa, R., & Martins, P. (2006). Distributed production planning and control agent-based system. *International Journal of Production Research*, 44(18-19), 3693-3709. doi:10.1080/00207540600788992
- Menges, G., Michaeli, W., & Mohren, P. (2000). *How to make injection molds* (3 ed.): Hanser Gardner Pubns.
- Mourtzis, D., Doukas, M., & Bernidaki, D. (2014). Simulation in Manufacturing: Review and Challenges. *8th International Conference on Digital Enterprise Technology - Det 2014 Disruptive Innovation in Manufacturing Engineering Towards the 4th Industrial Revolution*, 25, 213-229. doi:10.1016/j.procir.2014.10.032

- Negahban, A., & Smith, J. (2014). Simulation for manufacturing system design and operation: Literature review and analysis. *Journal of Manufacturing Systems*, 33(2), 241-261. doi:10.1016/j.jmsy.2013.12.007
- Nunes, M. L. (2013). Apontamentos da disciplina de Gestão e Ambiente na Indústria dos Plásticos do Mestrado Integrado em Engenharia de Polímeros. Universidade do Minho.
- Olhager, J. (2013). Evolution of operations planning and control: from production to supply chains. *International Journal of Production Research*, 51(23-24), 6836-6843. doi:10.1080/00207543.2012.761363
- Oliveira, C. S. (2008). Aplicação de técnicas de simulação em projetos de manufatura enxuta. Universidade Federal de Minas Gerais.
- Rabelo, R. J. (2006). *Manual do Arena 9.0*. Universidade Federal de Santa Catarina.
- Robinson, S. (2002). General concepts of quality for discrete-event simulation. *European Journal of Operational Research*, 138(1), 103-117. doi:10.1016/s0377-2217(01)00127-8
- Rozinat, A., Mans, R. S., Song, M., & van der Aalst, W. M. P. (2009). Discovering simulation models. *Information Systems*, 34(3), 305-327. doi:10.1016/j.is.2008.09.002
- Seleim, A., Azab, A., AlGeddawy, T., Chryssolouris, G., & Mourtzis, D. (2012). Simulation Methods for Changeable Manufacturing. *45th Cirp Conference on Manufacturing Systems 2012*, 3, 179-184. doi:10.1016/j.procir.2012.07.032
- Shannon, R., Medeiros, D., Watson, E., Carson, J., & Manivannan, M. (1998). Introduction to the art and science of simulation. *1998 Winter Simulation Conference Proceedings, Vols 1 and 2*, 7-14.
- Smith, J. (2003). Survey on the use of simulation for manufacturing system design and operation. *Journal of Manufacturing Systems*, 22(2), 157-171. doi:10.1016/S0278-6125(03)90013-6
- Standridge, C., & Marvel, J. (2006). Why lean needs simulation. *Proceedings of the 2006 Winter Simulation Conference, Vols 1-5*, 1907-1913. doi:10.1109/WSC.2006.322973
- Stevenson, M., Hendry, L. C., & Kingsman, B. G. (2005). A review of production planning and control: the applicability of key concepts to the make-to-order industry. *International Journal of Production Research*, 43(5), 869-898. doi:10.1080/0020754042000298520

ANEXO I – LISTA DE MATERIAIS

Lista de Materiais							ADD	Pag 1 / 3
Posição	Descrição	Qtd	Dimensões	Fornecedor	Materia	Tratamento	Durca	Obs.
000	Placa de Isolamento	1	E 1405/296x346x8	Meusbarger	HARZ	-	-	
001	Chapa Aperto da Injeção	1	K10/246x346x36	Hasco	1.1730	-	-	
002	Chapa da Cavidade	1	K20/246x346x116	Hasco	1.2312	-	-	
003	Chapa da Bucha	1	K20/246x346x76	Hasco	1.2312	-	-	
005_D1	Calços	1	K40/246x346x76	Hasco	1.1730	-	-	
007_D1	Chapa dos Extractores	1	K00/246x346x17	Hasco	1.1730	-	-	
007_D2	Placa Extractores 007_D2	1	P 1100/156x246x9	Hasco	1.1730			
008_D1	Chapa Aperto dos Extractores	1	K70/246x346x22	Hasco	1.1730	-	-	
008_D2	Placa Aperto Extractores 008_D2	1	P 1100/156x246x12	Hasco	1.1730			
009	Chapa Aperto da Extração	1	K10/246x346x36	Hasco	1.1730	-	-	
012_G	Suporte Guia	4	Ø18.000x62.000	-	1.2767	Têmpera	52±2HRc	
12-01	Pilar de suporte	4	Z57/32x76	Hasco	1.1730	-	-	
016	Guia Principal	1	Z00/116/22x75	Hasco	1.0401	-	-	
016	Guia Principal	3	Z00/116/24x75	Hasco	1.0401	-	-	
020	Casquilho de Centramento	4	Z20/30x100	Hasco	1.0401	-	-	
025	Casquilho	1	Z10/76/22	Hasco	1.0401	-	-	
025	Casquilho	3	Z10/76/24	Hasco	1.0401	-	-	
028	Casquilho haste extractora	1	Ø32.000x32.000	-	Br	-	-	
032	Anel centragem injeção	1	Ø125.000x20.000	-	1.1191	-	-	
034	Anel centragem extração	1	Ø125.000x13.000	-	1.1191	-	-	
050_A	Perno do Movimento 050_A	4	20.800x16.000x11.400		1.2767	Têmpera	52±2HRc	-
000_A	Regua de deslize 000A	4	17.50x27.00x95.00		1.2379	Têmpera	58±2 HRC	-
000_B	Regua de deslize 000B	4	17.50x27.00x95.00		1.2379	Têmpera	58±2 HRC	-
075	Haste extractora	1	Ø28.000x140.000	-	1.2311	-	-	
100	Postigo da injeção 100	2	140.000x140.000x45.000		1.2344	Têmpera	50±2HRc	
200	Postigo da extração 200	2	140.000x140.000x43.300		1.2344	Têmpera	50±2 HRC	
300	Difusor	1	Ø18.000x43.200		1.2767	Têmpera	52±2 HRC	
301	Apoio balance 301	2	34.900x23.500x19.900		1.2767	Têmpera	52±2HRc	
301	Apoio balance 301	2	34.900x23.500x19.900		1.2767	Têmpera	52±2HRc	
302	Apoio balance 302	4	23.500x20.321x18.400		1.2767	Têmpera	52±2HRc	
303	Apoio balance 303	2	35.000x26.000x19.000		1.2767	Têmpera	52±2HRc	
304	Apoio balance 304	2	Ø12.000x49.700		1.2767	Têmpera	52±2HRc	
305	Suporte refrigeração	2	Ø24.000x46.000		1.1730			
306	Chapa proteção sensor pressão	4	45.000x28.000x5.000		1.2767	Têmpera	52±2HRc	
330	Buçal-Ligação Rápida	12	N0-1/4"A	D-M-E	Messing	-	-	
012B	Suporte para apoio do molde 012B	4	Ø40.000x60.000	-	1.1191			
100A1	Postigo da injeção 100A1	4	Z41/5x100	Hasco				
100B	Postigo da injeção 100B	2	49.399x44.706x39.700		1.2344	Têmpera	50±2HRc	
100C	Postigo da injeção 100C	2	40.523x8.203x7.200		1.2344	Têmpera	50±2HRc	
100D1	Balanço 100D1	2	80.400x19.519x5.800		Unimax	Têmpera	58±2HRc	
100D2	Balanço 100D2	4	80.400x19.420x14.251		Unimax	Têmpera	58±2HRc	
100E	Balanço 100E	2	80.400x24.000x19.519		Unimax	Têmpera	58±2HRc	
100F	Postigo da injeção 100F	2	38.700x11.372x8.000		1.2379	Têmpera	58±2HRc	

	Observações:		
	*extractores necessitam maquinaria adicional (valor entre parêntesis equivale a altura máxima final)		
Tolerâncias gerais		Designação da peça	
Dim.	Ang.	Rato	
Elaborado por:		Data	Material
Aprovado por:		Data	Designação do conjunto
Dimensões máximas molde		Norma	Escaza
			Factor Contração
			Peso Peça: 12g
			Nº Cavidade: 2

Lista de Materiais								ADD	Pag: 2 / 3
Posição	Descrição	Qtz	Dimensões	Fornecedor	Materia	Tolerância	Duroza	OBS.	
100G	Postigo da injeção 100G	2	45.000x36.700x20.000			1.2707	Têmpera	52±2HRC	
100H	Postigo da injeção 100H	2	Z41/5*100	Hasco	Z41/5x100 (Hasco)	-	-		
200A1	Postigo da extração 200A1	2	37.666x7.999x7.249			1.2344	Têmpera	50±2 HRC	
200A3	Postigo da extração 200A3	2	37.666x7.999x7.249			1.2344	Têmpera	50±2 HRC	
200A4	Postigo da extração 200A4	2	37.666x7.999x7.249			1.2344	Têmpera	50±2 HRC	
200B1	Postigo da extração 200B1	8	Z41/2.7x100	Hasco	Z41/2.7x100 (Hasco)				
200B2	Postigo da extração 200B2	2	Z41/2.5x200	Hasco					
200C	Balancé 200C	2	91.791x12.550x8.237			Unimax	Têmpera	55±2 HRC	
200D1	Postigo da extração 200D1	2	42.495x13.999x12.998			1.2344	Têmpera	50±2 HRC	
200D2	Postigo da extração 200D2	2	42.495x13.999x12.998			1.2344	Têmpera	50±2 HRC	
200E1	Postigo da extração 200E1	2	43.300x19.200x19.199			1.2344	Têmpera	50±2 HRC	
200E2	Postigo da extração 200E2	2	43.300x18.500x18.500			1.2344	Têmpera	50±2 HRC	
200F1	Postigo da extração 200F1	4	41.287x13.500x10.002			1.2344	Têmpera	50±2 HRC	
80A	Elemento Móvel 80A	2	39.498x29.477x28.000			Unimax	Têmpera	55±2 HRC	
80B	Elemento Móvel 80B	2	39.509x29.501x28.000			Unimax	Têmpera	55±2 HRC	
B	Botão encosto	2	E1500_20	Meusburger		-	-		
C	CAIXA_CONECTOR	1	155.000x50.000x25.000			-	-		
C	Casquilho	4	Z10_12_10	Hasco		-	-		
C	Casquilho esfera	4	Z13_22X18	Hasco		-	-		
C	CASQUILHO_OQ	1	Ø54.000x40.000			1.2311			
C	Centradores	4	E1304_34	Meusburger		-	-		
C	Chapa tapa fos	2	E2765_10_30	Meusburger		-	-		
C	Discos pl ventilação	8	E2682_32	Meusburger		-	-		
CQ	OQ_DECI	1	-	Geom		-	-		
D	Datador	2	Z48700_5x15	Hasco		-	-		
E	Estrutura isolante	1	A6725_51X34X27_	Hasco		-	-		
E	Extractor Tubular	2	Z4504x2.5x150	Hasco					
E	Extractor Fixo	4	Z402_5x200	Hasco	1.2516	-	-	136.791	
E	Extractor Fixo	8	Z403x100	Hasco	1.2516	-	-	95.700	
E	Extractor Fixo	4	Z404_5x160	Hasco	1.2516	-	-	137.495	
E	Extractor Fixo	28	Z404_5x200	Hasco	1.2516	-	-	134.477	
E	Extractor Fixo	3	Z404x160	Hasco	1.2516	-	-	133.299	
E	Extractor Fixo	4	Z41_8X125	Hasco		-	-		
E	Extractor Fixo	4	Z41/10x160	Hasco	1.2343	-	-	130.000	
G	Guia	4	Z03_38_10X45	Hasco		-	-		
L	Lâmina de refrigeração	4	Z9681_R1_4X125	Hasco		-	-		
M	Molas	6	355-20-44-26_4	Rabourdin		-	-		
O	Orring	6	Z98_15-3_2-4	Hasco		-	-		
P	Palheta 2	2	Z9681_R1_4X250	Hasco		-	-		
P	Parafuso Cab. Cilíndrica	6	Z31/12x110	Hasco	10.9	-	-		
P	Parafuso Cab. Cilíndrica	4	Z31/12x40	Hasco	10.9	-	-		
P	Parafuso Cab. Cilíndrica	2	Z31/3x25	Hasco	10.9	-	-		
P	Parafuso Cab. Cilíndrica	1	Z31/4x18	Hasco	10.9	-	-		
P	Parafuso Cab. Cilíndrica	4	Z31/5x10	Hasco	10.9	-	-		
P	Parafuso Cab. Cilíndrica	6	Z31/5x14	Hasco	10.9	-	-		
P	Parafuso Cab. Cilíndrica	2	Z31/5x45	Hasco	10.9	-	-		
P	Parafuso Cab. Cilíndrica	1	Z31/5x55	Hasco	10.9	-	-		
P	Parafuso Cab. Cilíndrica	15	Z31/6x14	Hasco	10.9	-	-		
P	Parafuso Cab. Cilíndrica	3	Z31/6x22	Hasco	10.9	-	-		
P	Parafuso Cab. Cilíndrica	4	Z31/6x80	Hasco	10.9	-	-		
P	Parafuso Cab. Cilíndrica	8	Z31/8x25	Hasco	10.9	-	-		
P	Parafuso Cab. Cilíndrica	4	Z31/8x30	Hasco	10.9	-	-		
P	Parafuso Cab. Cilíndrica	16	Z31/8x40	Hasco	10.9	-	-		
P	Parafuso Cab. Cilíndrica	12	Z31/8x45	Hasco	10.9	-	-		

Lista de Materiais

A00

Pag: 3 / 3

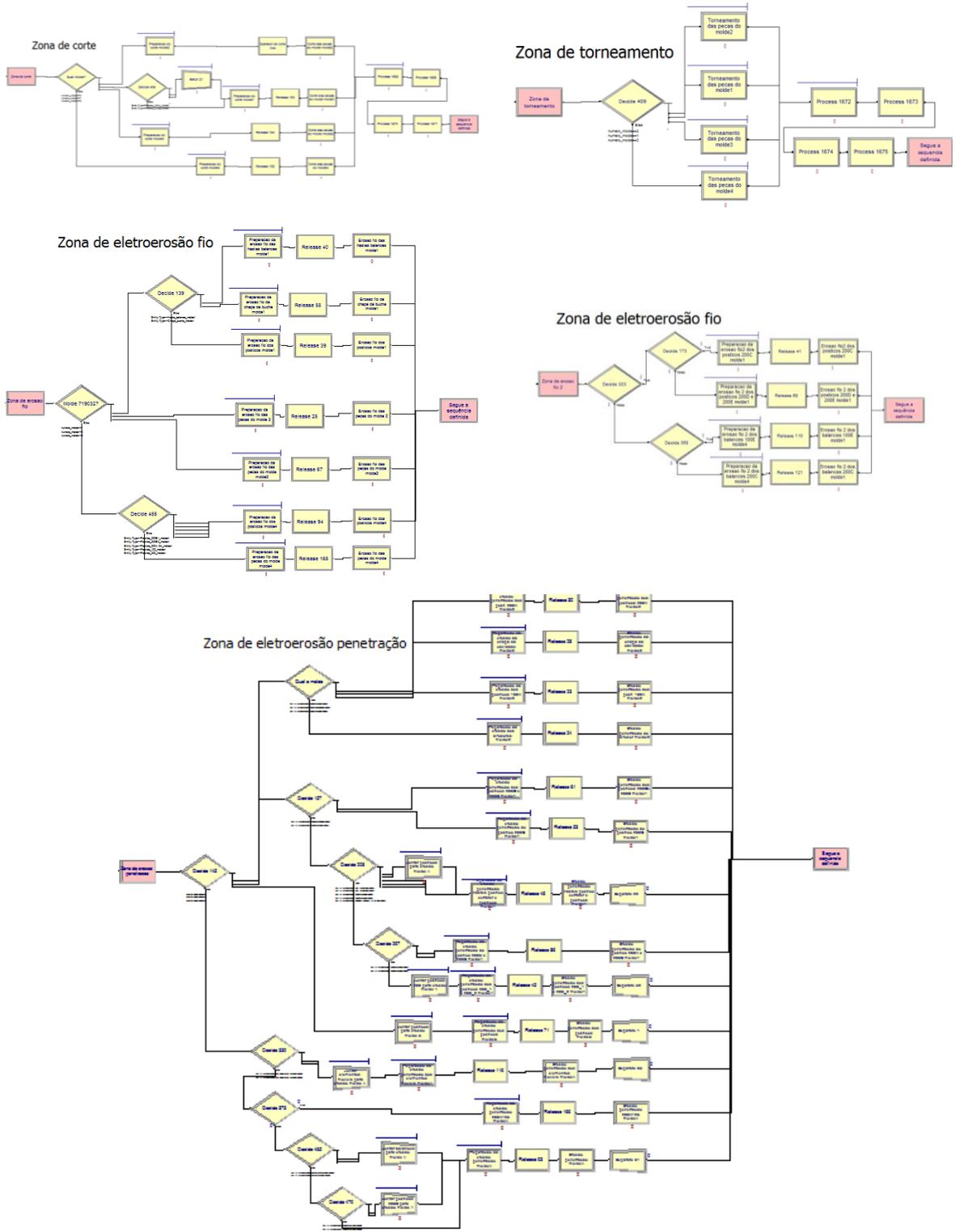
Posição	Descrição	Qtd.	Dimensões	Fornecedor	Materia	Tratamento	Dureza	Obs.
P	Parafuso Cab. Cilíndrica	16	Z32/5x12	Hasco	8.8	-	-	
P	Parafuso Cab. Cilíndrica	6	Z32/6x12	Hasco	8.8	-	-	
P	Parafuso Cab. Cônica	16	Z33/4x12	Hasco	8.8	-	-	
P	Parafuso Cab. Cônica	2	Z33/5x12	Hasco	8.8	-	-	
P	Parafuso Cab. Cônica	8	Z33/6x12	Hasco	8.8	-	-	
PE	Perno Esfera	4	Z37_6X14	Hasco		-	-	
Pr	Perno Roscado	2	Z36_6X26	Hasco		-	-	
T	Trinco do molde	1	Z73_12X20X50	Hasco		-	-	
Z25	Cavilha	4	Z25_5X12	Hasco		-	-	

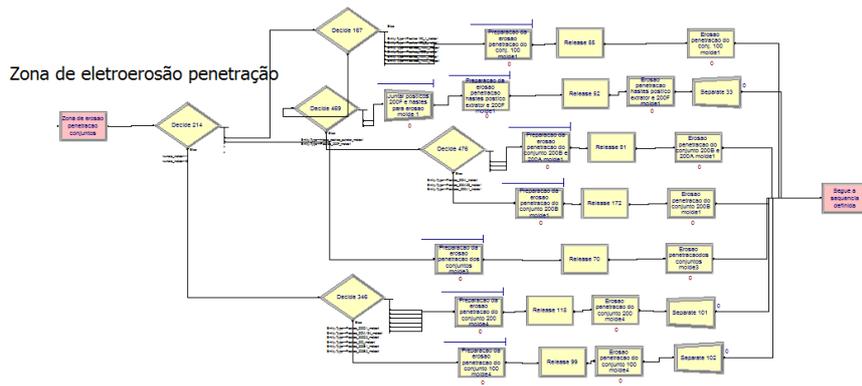
ANEXO II - PLANTA DA SERRALHARIA



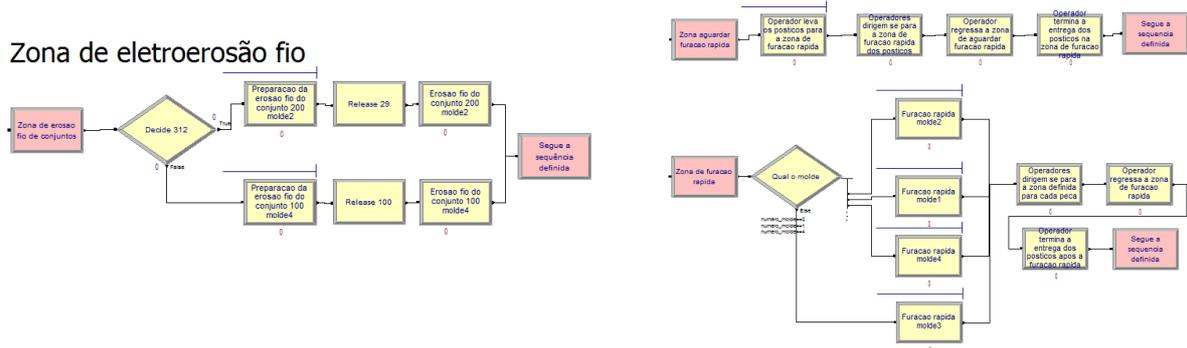
Figura 86: Planta da serralharia

ANEXO III – MODELAÇÃO DOS SISTEMAS PRODUTIVOS

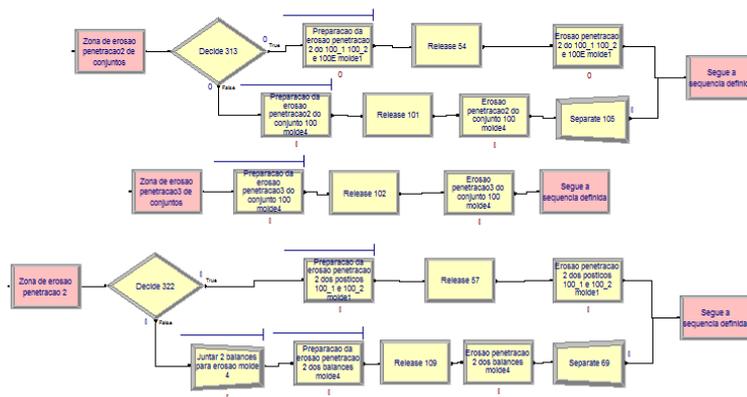




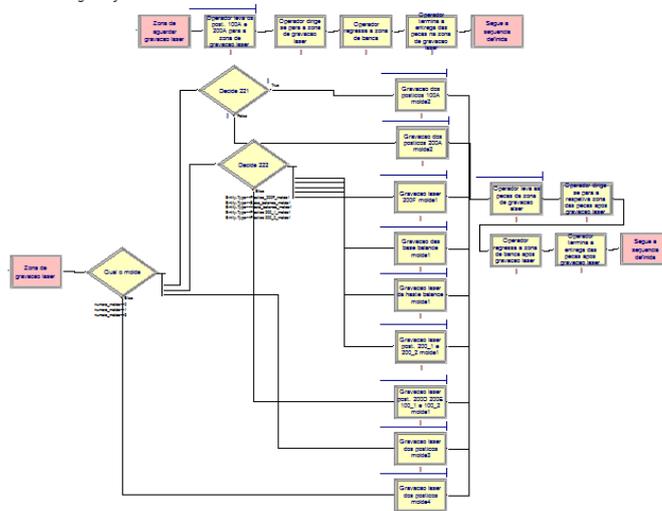
Zona de eletroerosão fio

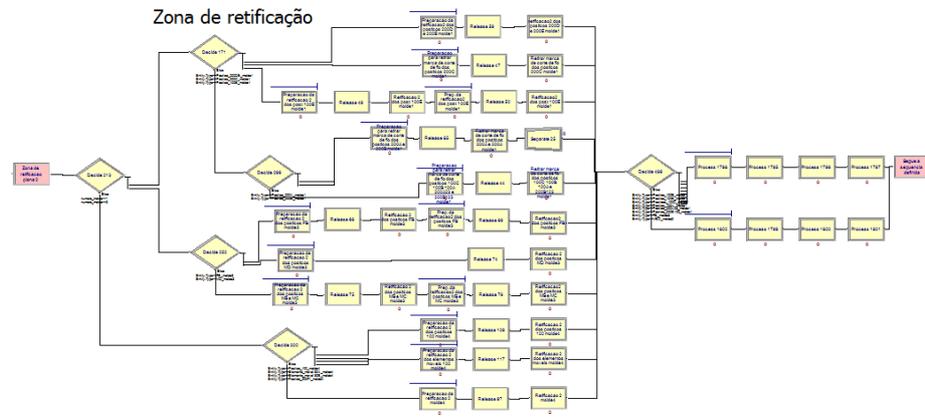
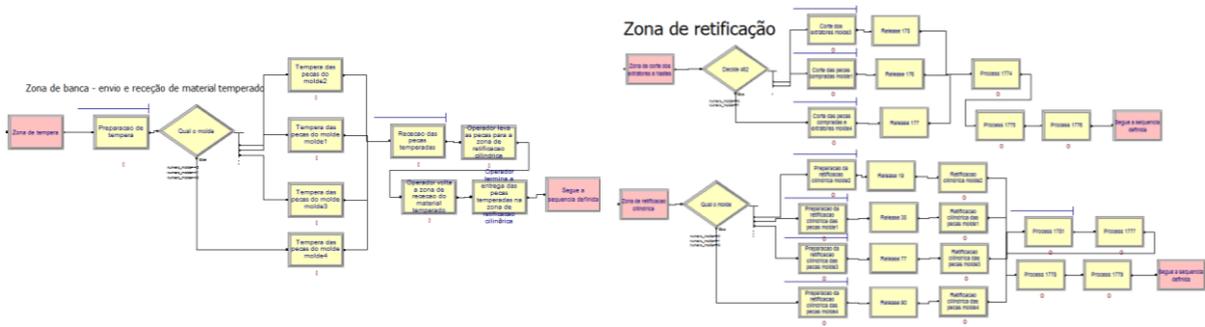


Zona de eletroerosão penetração

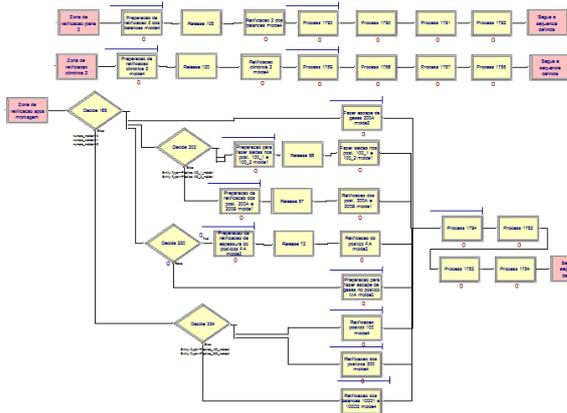


Zona de gravação laser

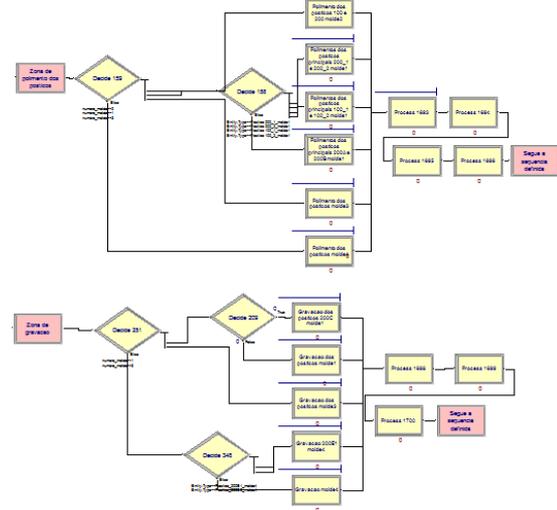




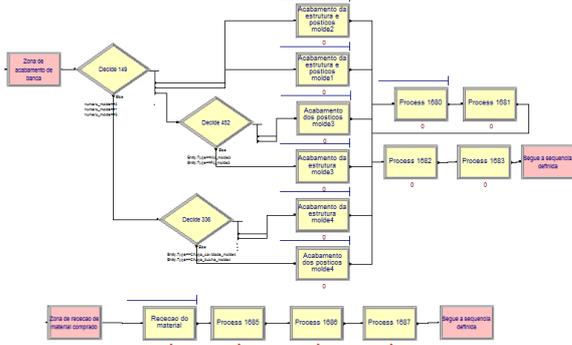
Zona de retificação



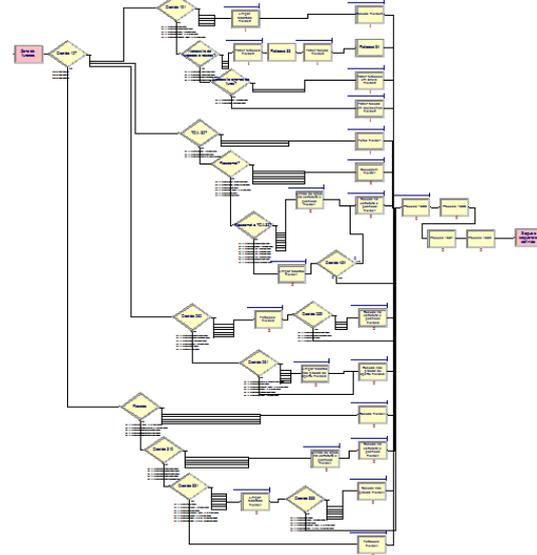
Zona de banca - gravação e polimento de postigos



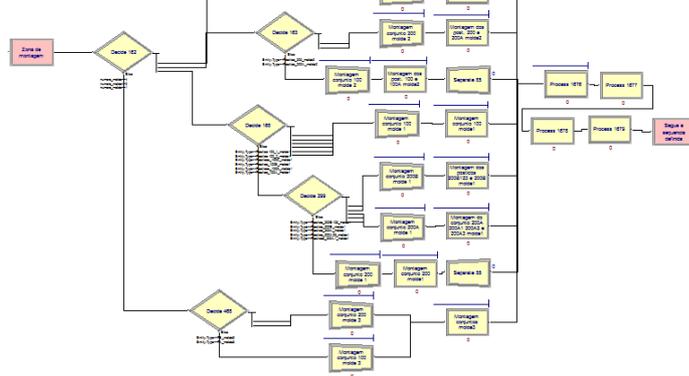
Zona de banca - acabamento e recepção de material comprado



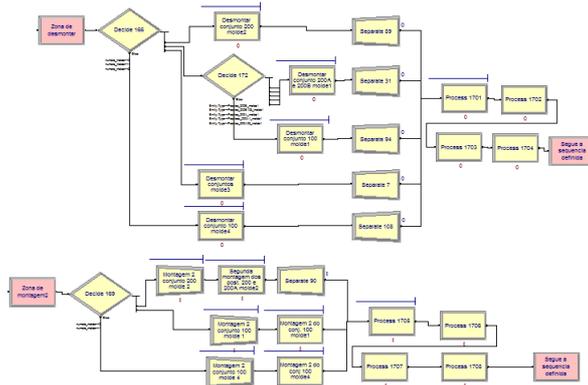
Zona de banca - furação, roscagem e eliminação de rebarbas



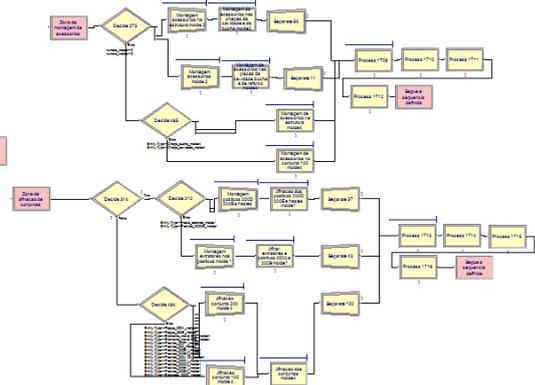
Zona de banca - montagem



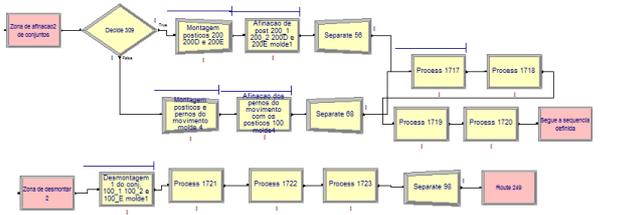
Zona de banca - desmontagem e montagem2



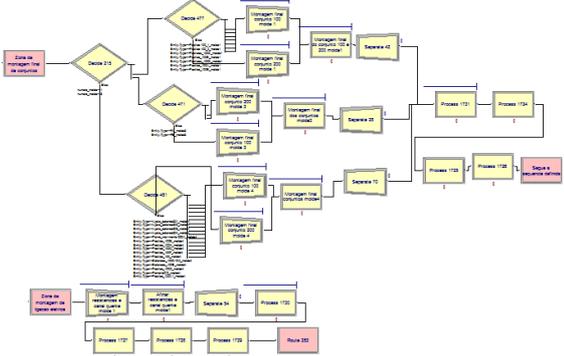
Zona de banca - montagem de acessórios na estrutura e afinação de conjuntos



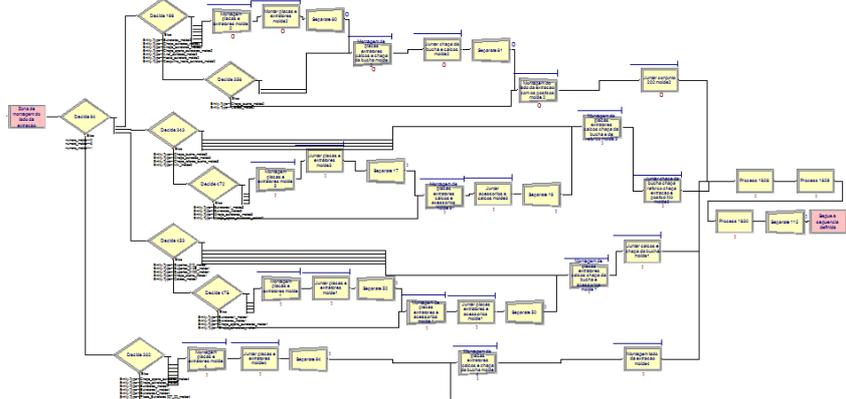
Zona de banca - afinação2 de conjuntos e desmontagem2



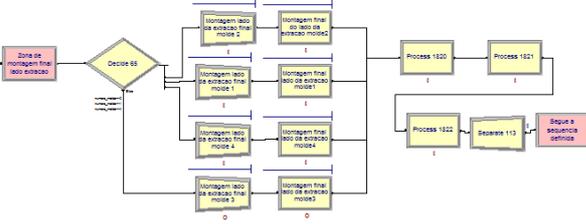
Zona de banca - montagem final de conjuntos e montagem de ligação elétrica



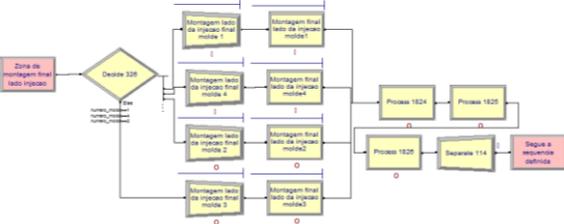
Zona de banca - montagem do lado da extração



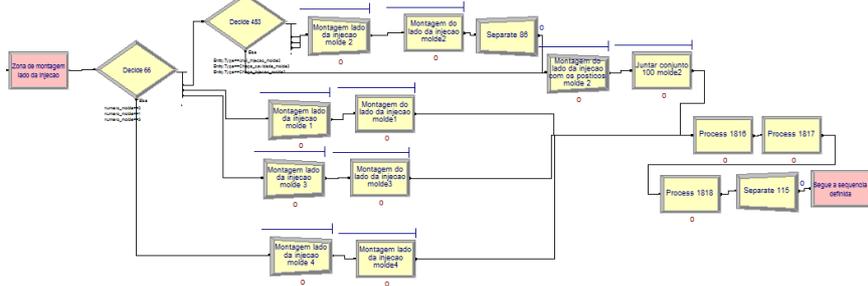
Zona de banca - montagem final do lado da extração



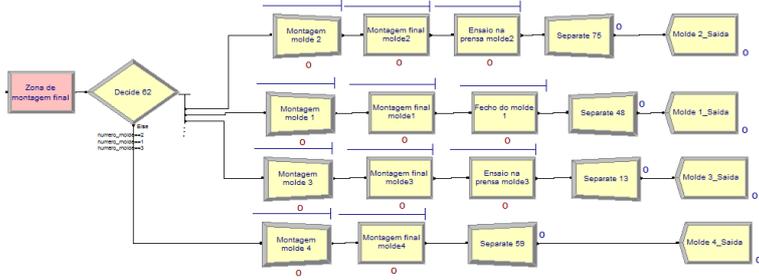
Zona de banca - montagem final do lado da injeção



Zona de banca - montagem do lado da injeção



Zona de banca - montagem final



ANEXO IV – SEQUÊNCIAS DE PRODUÇÃO

Sequência 1: Receção de material comprado, retificação plana, montagem final.

Sequência 2: Corte, torneamento, têmpera, retificação cilíndrica, retificação plana, eletroerosão fio, montagem final.

Sequência 3: Corte, maquinação, têmpera, retificação plana, eletroerosão penetração, fresagem de acabamento, gravação laser, montagem, montagem do lado da injeção, montagem final do lado da injeção, montagem final.

Sequência 4: Corte, maquinação, furação, têmpera, retificação plana, eletroerosão fio, fresagem de acabamento, acabamento de banca, montagem, montagem do lado da injeção, polimento, montagem final do lado da injeção, montagem final.

Sequência 5: Corte, maquinação, têmpera, retificação plana, furação rápida, montagem, eletroerosão fio de conjuntos, desmontagem, eletroerosão penetração, montagem 2, montagem do lado da extração, retificação após montagem, gravação laser, montagem final do lado da extração, montagem final.

Sequência 6: Corte, maquinação, furação, têmpera, retificação plana, eletroerosão fio, fresagem de acabamento, acabamento de banca, montagem, eletroerosão fio de conjuntos, desmontar conjuntos, montagem 2, montagem do lado da extração, polimentos, montagem final do lado da extração, montagem final.

Sequência 7: Corte, torneamento, furação, montagem do lado da injeção, montagem final do lado da injeção, montagem final.

Sequência 8: Receção de placas, maquinação, furação, retificação plana, fresagem de acabamento, acabamento de banca, eletroerosão penetração, montagem de acessórios, montagem do lado da injeção, montagem final do lado da injeção, montagem final.

Sequência 9: Receção de placas, maquinação, furação, retificação plana, fresagem de acabamento, acabamento de banca, montagem de acessórios, montagem do lado da extração, montagem final do lado da extração, montagem final.

Sequência 10: Receção de material comprado, retificação plana, montagem do lado da extração, montagem final do lado da extração, montagem final.

Sequência 11: Receção de material comprado, retificação plana, montagem do lado da injeção, montagem final do lado da injeção, montagem final.

Sequência 12: Receção de placas, maquinação, furação, retificação plana, montagem do lado da extração, montagem final do lado da extração, montagem final.

Sequência 13: Corte, torneamento, furação, montagem do lado da extração, montagem final do lado da extração, montagem final.

Sequência 14: Receção de placas, maquinação, furação, retificação plana, montagem do lado da extração, montagem final do lado da extração, montagem final.

Sequência 15: Corte, torneamento, têmpera, retificação cilíndrica, retificação plana, montagem, eletroerosão penetração de conjuntos, afinação de conjuntos, montagem final de conjuntos, montagem final.

Sequência 16: Corte, torneamento, montagem do lado da extração, montagem final do lado da extração, montagem final.

Sequência 17: Corte, torneamento, furação, maquinação, montagem do lado da extração, montagem final do lado da extração, montagem final.

Sequência 18: Receção de placas, maquinação, furação, montagem do lado da extração, montagem final do lado da extração, montagem final.

Sequência 19: Corte, torneamento, maquinação, têmpera, retificação cilíndrica, retificação plana, eletroerosão penetração, montagem final do lado da extração, montagem final.

Sequência 20: Receção de material comprado, retificação (corte), retificação cilíndrica, retificação plana, montagem final de conjuntos, montagem final.

Sequência 21: Corte, torneamento, furação, retificação plana, montagem do lado da extração, montagem final do lado da extração, montagem final.

Sequência 22: Corte, torneamento, retificação plana, montagem do lado da extração, montagem final do lado da extração, montagem final.

Sequência 23: Corte, torneamento, furação, têmpera, retificação cilíndrica, retificação plana, montagem do lado da extração, montagem final do lado da extração, montagem final.

Sequência 24: Corte, maquinação, têmpera, retificação plana, afinação de conjuntos, montagem final de conjuntos, montagem final.

Sequência 25: Corte, torneamento, maquinação, furação, montagem do lado da extração, montagem final do lado da extração, montagem final.

Sequência 26: Corte, maquinação, têmpera, retificação plana, montagem do lado da extração, montagem final do lado da extração, montagem final.

Sequência 27: Corte, torneamento, retificação plana, montagem do lado da extração, montagem final do lado da extração, montagem final.

Sequência 28: Corte, maquinação, furação, montagem final.

Sequência 29: Torneamento, furação, montagem final.

Sequência 30: Receção de placas, maquinação, furação, retificação plana, fresagem de acabamento, acabamento de banca, montagem do lado da injeção, montagem da ligação elétrica, montagem final do lado da injeção, montagem final.

Sequência 31: Receção de placas, maquinação, furação, retificação plana, fresagem de acabamento, acabamento de banca, eletroerosão fio, montagem do lado da extração, montagem da ligação elétrica, montagem final do lado da extração, montagem final.

Sequência 32: Corte, maquinação, têmpera, retificação plana, eletroerosão fio, gravação, retificação plana, eletroerosão penetração, afinação de conjuntos, montagem final de conjuntos, montagem final.

Sequência 33: Corte, torneamento, gravação laser, montagem final de conjuntos, montagem final do lado da extração, montagem final.

Sequência 34: Corte, torneamento, retificação cilíndrica, retificação plana, montagem final de conjuntos, montagem final do lado da extração, montagem final.

Sequência 35: Receção de material comprado, retificação (corte), maquinação, eletroerosão penetração, eletroerosão penetração de conjuntos, montagem final de conjuntos, montagem final do lado da extração, montagem final.

Sequência 36: Receção de material comprado, retificação (corte), retificação plana, maquinação, eletroerosão fio, gravação laser, afinação de conjuntos, montagem final de conjuntos, montagem final do lado da extração, montagem final.

Sequência 37: Corte, maquinação, têmpera, retificação plana, eletroerosão fio, gravação, retificação plana, montagem, eletroerosão penetração de conjuntos, desmontagem, montagem final de conjuntos, montagem final do lado da injeção, montagem final.

Sequência 38: Maquinação, têmpera, retificação plana, eletroerosão fio, gravação, retificação plana 2, montagem, eletroerosão penetração de conjuntos, desmontagem, montagem final de conjuntos, montagem final do lado da injeção, montagem final.

Sequência 39: Maquinação, furação, têmpera, retificação plana, eletroerosão fio, fresagem de acabamento, eletroerosão penetração, acabamento de banca, montagem, eletroerosão penetração de conjuntos, desmontagem, gravação laser, montagem 2, eletroerosão penetração de conjuntos 2, desmontagem 2, retificação após montagem, eletroerosão penetração 2, polimentos, montagem final de conjuntos, montagem final do lado da injeção, montagem final.

Sequência 40: Corte, maquinação, têmpera, retificação plana, eletroerosão fio, eletroerosão penetração, retificação plana 2, montagem 2, eletroerosão penetração de conjuntos 2, desmontagem 2, montagem final de conjuntos, montagem final do lado da injeção, montagem final.

Sequência 41: Maquinação, furação, têmpera, retificação plana, furação rápida, eletroerosão fio, fresagem de acabamento, eletroerosão penetração, acabamento de banca, polimento, gravação laser, montagem, afinação de conjuntos 2, montagem final de conjuntos, montagem final do lado da extração, montagem final.

Sequência 42: Retificação plana, eletroerosão fio, gravação, retificação plana 2, montagem, eletroerosão penetração de conjuntos, desmontagem, montagem final de conjuntos, montagem final do lado da extração, montagem final.

Sequência 43: Eletroerosão fio, gravação, retificação plana, eletroerosão penetração, eletroerosão penetração de conjuntos, gravação laser, montagem, montagem final de conjuntos, montagem final do lado da extração, montagem final.

Sequência 44: Eletroerosão fio, gravação, eletroerosão fio 2, gravação, retificação plana 2, eletroerosão penetração, montagem, montagem final de conjuntos, montagem final do lado da extração, montagem final.

Sequência 45: Eletroerosão fio, gravação, retificação plana, montagem, retificação plana 2, eletroerosão fio 2, eletroerosão penetração, afinação de conjuntos, gravação laser, afinação de conjuntos 2, montagem final de conjuntos, montagem final do lado da extração, montagem final.

Sequência 46: Eletroerosão fio, gravação, retificação plana, montagem, eletroerosão penetração de conjuntos, desmontagem, montagem final de conjuntos, montagem final do lado da extração, montagem final.

Sequência 47: Corte, maquinação, têmpera, retificação plana, furação rápida, eletroerosão fio, gravação, retificação plana 2, eletroerosão penetração, montagem, eletroerosão penetração de conjuntos, desmontagem, retificação após montagem, polimento, afinação de conjuntos, montagem final de conjuntos, montagem final do lado da extração, montagem final.

Sequência 48: Corte, maquinação, têmpera, retificação plana, eletroerosão penetração, eletroerosão fio, gravação, montagem, eletroerosão penetração de conjuntos, afinação de conjuntos, montagem final de conjuntos, montagem final.

Sequência 49: Corte, maquinação, têmpera, retificação plana, eletroerosão fio, gravação, retificação plana 2, montagem, eletroerosão penetração de conjuntos, desmontagem, montagem final de conjuntos, montagem final.

Sequência 50: Corte, maquinação, furação, têmpera, retificação plana, fresagem de acabamento, furação rápida, eletroerosão penetração, eletroerosão fio, montagem, eletroerosão penetração de conjuntos, desmontagem, acabamento de banca, montagem do lado da injeção, retificação após montagem, gravação laser, polimento, montagem final do lado da injeção, montagem final de conjuntos, montagem final.

Sequência 51: Corte, maquinação, têmpera, retificação plana, eletroerosão fio, gravação, retificação plana 2, gravação laser, montagem final de conjuntos, montagem final.

Sequência 52: Corte, torneamento, maquinação, têmpera, retificação cilíndrica, retificação plana, montagem final.

Sequência 53: Corte, torneamento, têmpera, retificação cilíndrica, retificação plana, furação rápida, eletroerosão fio, eletroerosão penetração, retificação cilíndrica 2, montagem, eletroerosão penetração de conjuntos, afinação de conjuntos, montagem final de conjuntos, montagem final.

Sequência 54: Receção de placas, maquinação, furação, retificação plana, fresagem de acabamento, acabamento de banca, montagem de acessórios, montagem do lado da injeção, montagem final do lado da injeção, montagem final.

Sequência 55: Receção de placas, maquinação, furação, retificação plana, fresagem de acabamento, acabamento de banca, montagem de acessórios, montagem do lado da extração, montagem final do lado da extração, montagem final.

Sequência 56: Receção de placas, maquinação, furação, retificação plana, montagem de acessórios, montagem do lado da extração, montagem final do lado da extração, montagem final.

Sequência 57: Corte, maquinação, furação, têmpera, retificação plana, fresagem de acabamento, furação rápida, eletroerosão penetração, eletroerosão fio, montagem, eletroerosão penetração de conjuntos, desmontagem, acabamento de banca, montagem do lado da extração, retificação após montagem, gravação laser, polimento, montagem final do lado da extração, montagem final de conjuntos, montagem final.

Sequência 58: Corte, maquinação, furação, têmpera, retificação plana, fresagem de acabamento, eletroerosão fio, montagem, eletroerosão penetração de conjuntos, afinação de conjuntos, gravação laser, polimento, montagem final do lado da extração, acabamento de banca, retificação após montagem, montagem final de conjuntos, montagem final.

Sequência 59: Corte, torneamento, retificação plana, montagem de acessórios, montagem final.

Sequência 60: Corte, torneamento, retificação cilíndrica, retificação plana, montagem de acessórios, montagem final.

Sequência 61: Corte, torneamento, furação, têmpera, retificação cilíndrica, retificação plana, montagem de acessórios, montagem final.

Sequência 62: Corte, torneamento, furação, retificação plana, montagem de acessórios, montagem final.

Sequência 63: Corte, torneamento, montagem de acessórios, montagem final.

Sequência 64: Corte, torneamento, têmpera, retificação cilíndrica, retificação plana, eletroerosão penetração, montagem, eletroerosão penetração de conjuntos, afinação de conjuntos, montagem final de conjuntos, montagem final.

Sequência 65: Eletroerosão penetração, montagem final de conjuntos, montagem final.

Sequência 66: Receção de material comprado, retificação (corte), retificação cilíndrica, retificação plana, afinação de conjuntos, montagem final de conjuntos, montagem final.

Sequência 67: Corte, maquinação, têmpera, retificação plana, eletroerosão fio, gravação, retificação plana 2, eletroerosão fio 2, afinação de conjuntos, montagem final de conjuntos, montagem final.

Sequência 68: Receção de material comprado, retificação (corte), retificação cilíndrica, retificação plana, eletroerosão penetração, afinação de conjuntos, montagem final de conjuntos, montagem final.

Sequência 69: Corte, torneamento, retificação cilíndrica, retificação plana, maquinação, montagem final.

Sequência 70: Corte, maquinação, montagem final.

Sequência 71: Corte, torneamento, furação, montagem final.

Sequência 72: Maquinação, montagem final.

Sequência 73: Corte, torneamento, têmpera, retificação cilíndrica, retificação plana, furação rápida, eletroerosão fio, montagem final.

Sequência 74: Corte, maquinação, têmpera, retificação plana, eletroerosão fio, fresagem de acabamento, montagem final de conjuntos, montagem final.

Sequência 75: Corte, torneamento, têmpera, retificação cilíndrica, retificação plana, montagem final.

Sequência 76: Corte, torneamento, montagem final.

Sequência 77: Corte, torneamento, retificação cilíndrica, retificação plana, montagem final.

Sequência 78: Corte, torneamento, têmpera, retificação cilíndrica, retificação plana, eletroerosão penetração, montagem final.

Sequência 79: Corte, maquinação, furação, têmpera, retificação plana, eletroerosão fio, montagem final de conjuntos, montagem final.

Sequência 80: Corte, maquinação, têmpera, retificação plana, eletroerosão fio, montagem final de conjuntos, montagem final.

Sequência 81: Corte, torneamento, furação, têmpera, retificação cilíndrica, retificação plana, eletroerosão fio, montagem final de conjuntos, montagem final.

Sequência 82: Corte, maquinação, furação, têmpera, retificação plana, eletroerosão fio, retificação plana 2, afinação de conjuntos 2, montagem final de conjuntos, montagem final.

Sequência 83: Corte, torneamento, têmpera, retificação cilíndrica, retificação plana, maquinação, furação rápida, montagem, eletroerosão penetração de conjuntos, montagem de acessórios, eletroerosão fio de conjuntos, eletroerosão penetração de conjuntos 2, afinação de conjuntos, montagem 2, eletroerosão penetração de conjuntos 3, desmontagem, montagem final de conjuntos, montagem final.

Sequência 84: Receção de material comprado, retificação (corte), retificação cilíndrica, retificação plana, montagem, eletroerosão penetração de conjuntos, montagem de acessórios, eletroerosão fio de conjuntos, eletroerosão penetração de conjuntos 2, afinação de conjuntos, montagem 2, eletroerosão penetração de conjuntos 3, desmontagem, montagem final de conjuntos, montagem final.

Sequência 85: Eletroerosão fio, gravação, retificação plana, montagem, eletroerosão penetração de conjuntos, montagem de acessórios, eletroerosão fio de conjuntos, eletroerosão penetração de conjuntos 2, afinação de conjuntos, montagem 2, eletroerosão penetração de conjuntos 3, desmontagem, montagem final de conjuntos, montagem final.

Sequência 86: Corte, maquinação, furação, têmpera, retificação plana, fresagem de acabamento, eletroerosão fio, montagem, eletroerosão penetração de conjuntos, montagem de acessórios, eletroerosão fio de conjuntos, eletroerosão penetração de conjuntos 2, afinação de conjuntos, montagem 2, eletroerosão penetração de conjuntos 3, desmontagem, gravação laser, retificação plana 2, polimento, afinação de conjuntos 2, montagem final do lado da injeção, acabamento de banca, retificação após montagem, montagem final de conjuntos, montagem final.

Sequência 87: Corte, maquinação, têmpera, retificação plana, eletroerosão fio, gravação, retificação plana 2, eletroerosão penetração, afinação de conjuntos, retificação plana 3, montagem 2, eletroerosão penetração de conjuntos 3, desmontagem, eletroerosão penetração 2, retificação após montagem, montagem final de conjuntos, montagem final.

Sequência 88: Corte, maquinação, têmpera, retificação plana, eletroerosão fio, gravação, retificação plana 2, eletroerosão penetração, afinação de conjuntos, retificação plana 3, montagem 2, eletroerosão penetração de conjuntos 3, desmontagem, eletroerosão fio 2, eletroerosão penetração 2, montagem final de conjuntos, montagem final.

Sequência 89: Receção de material comprado, retificação (corte), retificação plana, montagem do lado da extração, montagem final do lado da extração, montagem final.

Sequência 90: Receção de material comprado, retificação (corte), montagem do lado da extração, montagem final do lado da extração, montagem final.

Sequência 91: Receção de material comprado, retificação (corte), eletroerosão penetração, montagem do lado da extração, montagem final do lado da extração, montagem final.

Sequência 92: Receção de material comprado, retificação (corte), retificação plana, afinação de conjuntos, montagem do lado da extração, montagem final do lado da extração, montagem final.

Sequência 93: Receção de material comprado, retificação (corte), afinação de conjuntos, montagem do lado da extração, montagem final do lado da extração, montagem final.

ANEXO V – ESQUEMAS DE PRODUÇÃO

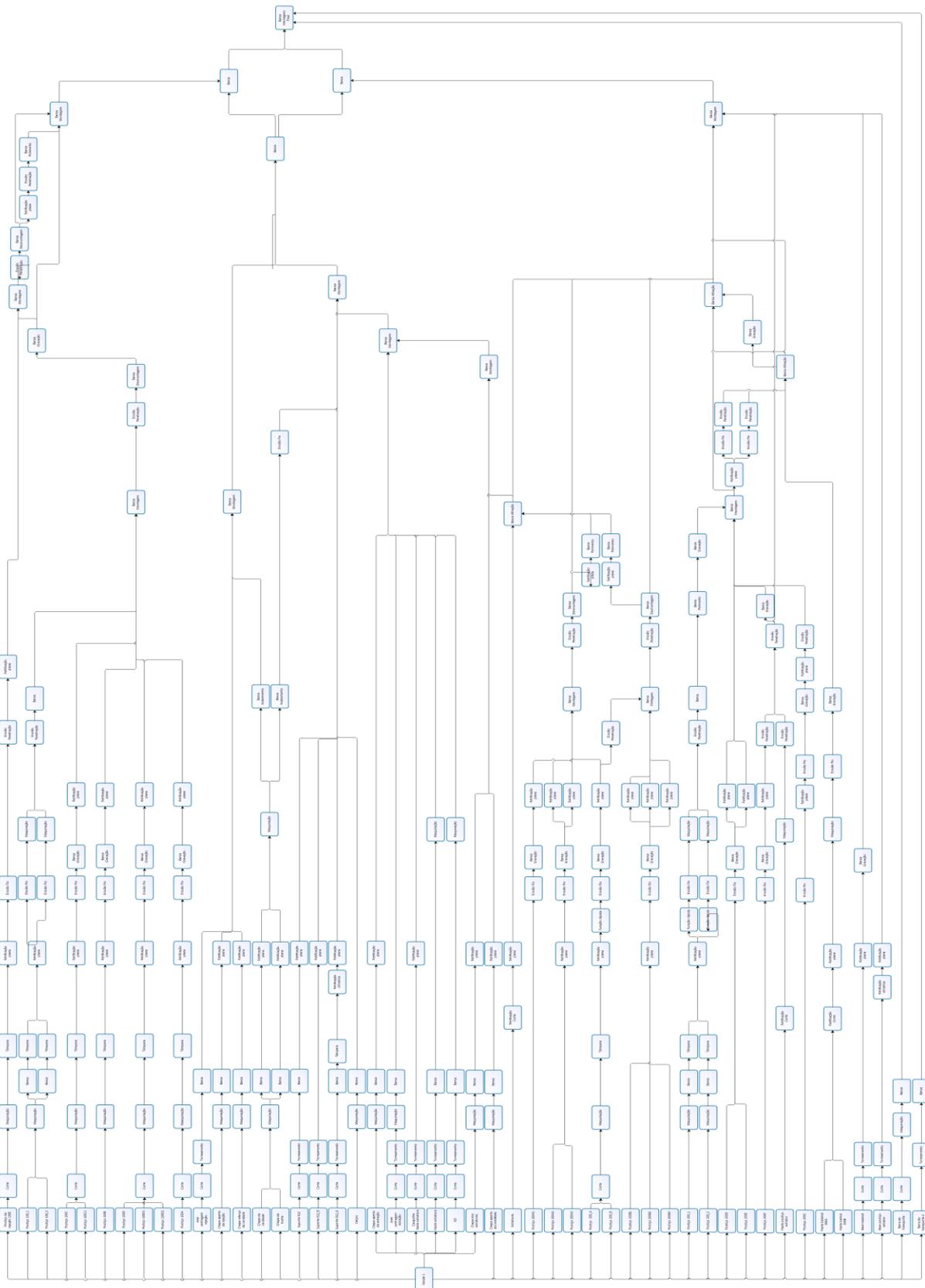


Figura 87: Esquema de produção do molde 1

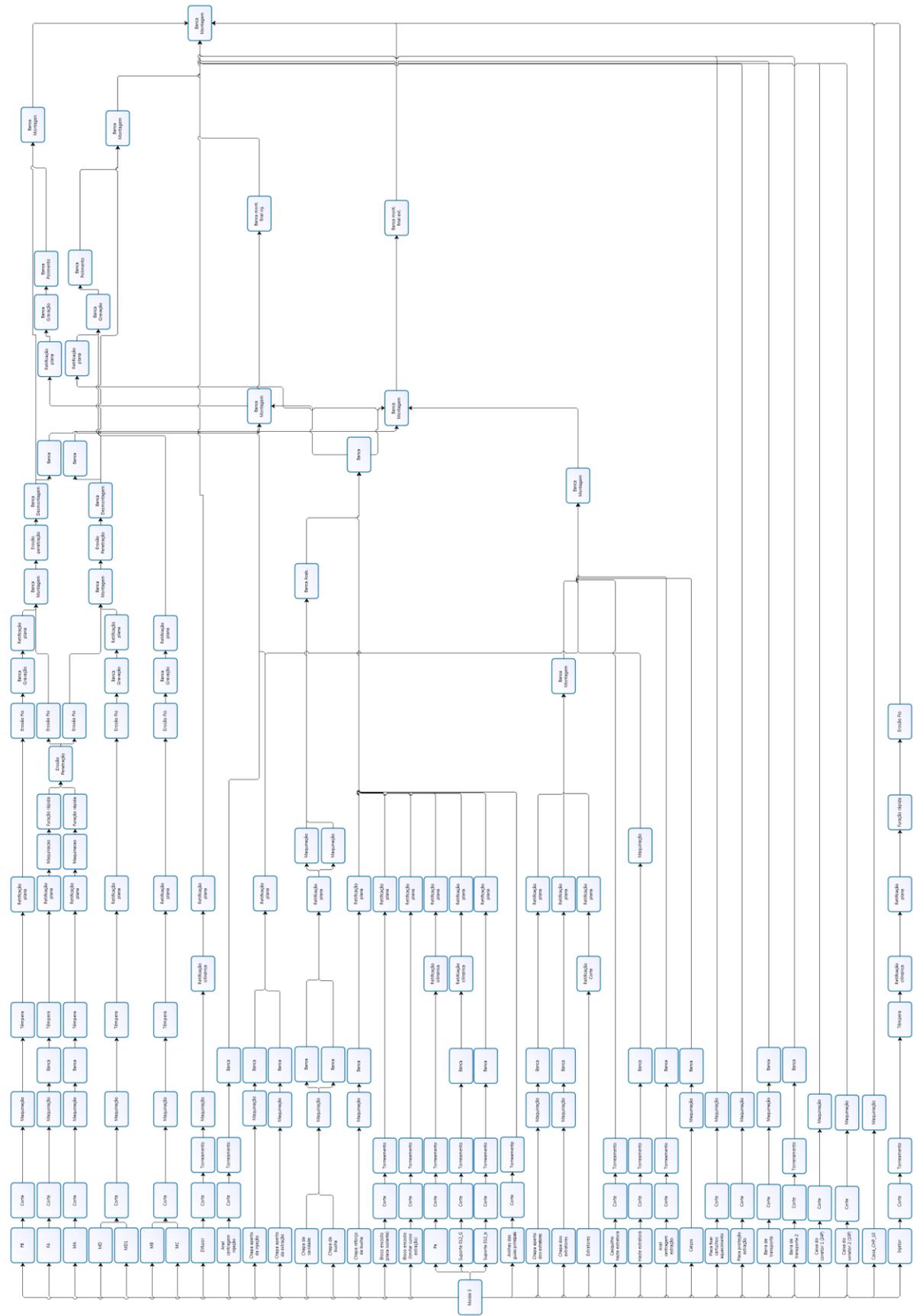


Figura 89: Esquema de produção do molde 3

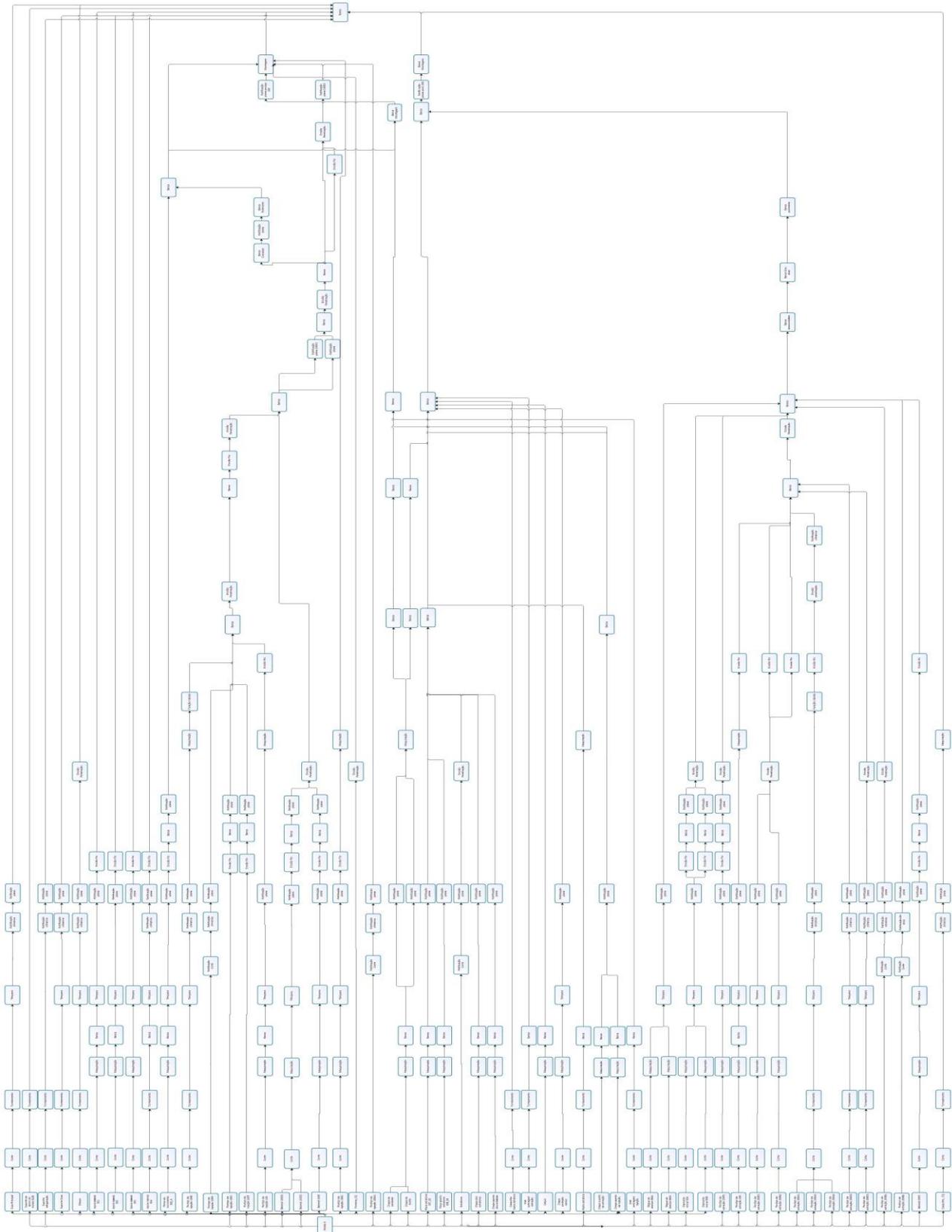


Figura 90: Esquema de produção do molde 4

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
1	0	0	0	0	0	0	0	40	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	2	0	0	0	0	0	10	30	0	0	15	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3	40	0	248	0	0	0	0	200	0	285,04	0	130	0	0	0	0	0	0	0	0
4	24	0	245	0	0	0	0	180	0	0	40	55	0	0	0	0	0	0	0	0
5	24	0	245	0	0	0	0	180	0	0	40	55	0	0	0	0	95,4	0	0	0
6	40	0	270	0	0	0	0	179,2	0	0	0	0	0	0	0	0	95,4	0	0	520
7	7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
8	0	0	295	0	0	0	0	30	0	0	0	225	0	0	0	0	90	0	0	0
9	0	0	295	0	0	0	0	40	0	0	0	225	0	0	0	0	0	0	0	0
10	0	0	75	0	0	0	0	65	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
11	0	0	70	0	0	0	0	65	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
13	0	0	165	0	0	0	0	60	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
14	0	0	105	0	0	0	0	40	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
15	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
16	7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
17	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
18	0	0	80	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
19	4	0	0	0	0	0	40	10	0	60	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
20	2	0	0	0	0	0	10	5	0	240	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Figura 94: Tempos de setup do molde 2

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26
1	11	0	42	0	0	2	0	80	0	0	0	104	4	65,2	70	260	12,5	0	0	0	0	0	0	60	242	180,4
2	35	0	290	100	20	2	0	370	25	55	2370	225	0	0	70	260	12,5	30	80	60	24	60	60	60	242	180,4
3	35	0	290	100	20	2	0	380	25	240	2370	691	0	0	117	1500	15,3	30	190	120	24	60	116	220	242	180,4
4	15	0	42	0	0	2	0	80	0	0	0	216	8	236	117	1500	15,3	0	0	0	0	0	0	220	242	180,4
5	3	0	42	0	0	2	0	80	0	0	0	216	8	50	0	0	0	0	0	182	0	0	0	220	242	180,4
6	4	60	10	0	0	2	410	40	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	242	180,4	
7	15	85	0	20	0	0	0	45	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	80	0	0	0	60	0	242	180,4
8	0	0	195	25	5	0	0	240	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	80	0	0	0	60	0	242	180,4
9	0	0	195	20	10	0	0	240	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	190	0	0	0	116	0	242	180,4
10	0	0	415	130	20	0	0	35	95	0	0	0	0	0	30	0	0	185	80	0	0	60	0	242	180,4	
11	0	0	415	130	20	0	0	95	160	0	0	0	0	0	30	0	0	185	190	0	0	116	0	242	180,4	
12	0	0	117	20	10	0	0	130	0	0	0	0	0	0	0	0	0	185	190	0	0	116	0	242	180,4	
13	18	150	0	0	0	0	0	45	0	0	0	0	0	0	0	0	0	185	0	0	0	0	0	242	180,4	
14	2	72	0	0	0	0	0	80	50	0	0	0	0	0	0	0	0	185	0	0	0	0	0	242	180,4	
15	4	180	0	0	0	0	0	40	45	0	0	0	0	0	0	0	0	185	0	0	0	0	0	242	180,4	
16	8	150	0	0	4	2	140	40	0	0	0	0	0	0	0	0	0	185	0	0	0	0	0	242	180,4	
17	4	40	0	0	2	0	0	20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	185	0	0	0	0	0	242	180,4	
18	4	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	185	0	0	0	0	0	242	180,4	
19	0	0	230	15	15	0	0	110	0	0	0	0	0	0	116	0	112,2	0	190	0	0	116	0	242	180,4	
20	0	0	230	15	15	0	0	110	0	0	0	0	0	0	116	0	112,2	0	190	0	0	116	0	242	180,4	
21	0	0	0	0	0	0	15	0	0	0	0	0	0	116	0	112,2	0	190	0	0	116	0	242	180,4		
22	5	40	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	112,2	0	190	0	0	116	0	242	180,4		
23	5	60	0	0	1	0	0	0	5	0	0	0	0	0	0	112,2	0	190	0	0	116	0	242	180,4		
24	15	95	0	10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	112,2	0	190	0	0	116	0	242	180,4		
25	0	0	10	50	10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	112,2	0	190	0	0	116	0	242	180,4		
26	16	0	30	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	242	180,4		
27	3	0	15	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	242	180,4		
28	5	0	54	0	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	242	180,4		
29	2	90	0	0	10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	242	180,4		
30	4	0	125	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	242	180,4		
31	4	0	115,5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	242	180,4		
32	0	0	35	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	242	180,4		
33	3	60	0	0	0	2	100	70	0	30	0	110	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	242	180,4		
34	0	0	0	0	0	0	15	60	0	0	0	0	0	0	116	0	112,2	0	190	0	0	116	0	242	180,4	

Figura 95: Tempos de produção do molde 3

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
1	3	0	18	0	0	0	0	20	0	0	0	19	0	45,2	0	100	0	0	0	0
2	19	0	120	0	0	0	0	140	25	0	150	35	0	0	0	100	0	0	0	57
3	19	0	120	0	0	0	0	130	25	0	150	49	0	0	0	420,3	0	0	0	0
4	3	0	18	0	0	0	0	20	0	0	9	23	0	164	0	420,3	0	0	0	0
5	3	0	18	0	0	0	0	20	0	0	0	23	0	10	0	0	0	0	0	0
6	4	0	0	0	0	0	50	20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7	7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
8	0	0	105	0	0	0	0	60	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
9	0	0	105	0	0	0	0	60	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10	0	0	380	0	0	0	0	25	75	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
11	0	0	380	0	0	0	0	25	110	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
12	0	0	63	0	0	0	0	35	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
13	12	0	0	0	0	0	0	15	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
14	4	0	0	0	0	0	40	10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
15	8	0	0	0	0	0	20	15	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
16	8	0	0	0	0	0	40	20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
17	4	0	0	0	0	0	0	10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
18	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
19	0	0	140	0	0	0	0	40	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
20	0	0	125	0	0	0	0	40	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
21	0	0	0	0	0	0	0	9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
22	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
23	2	0	0	0																

ANEXO VII – HORÁRIOS DOS RECURSOS

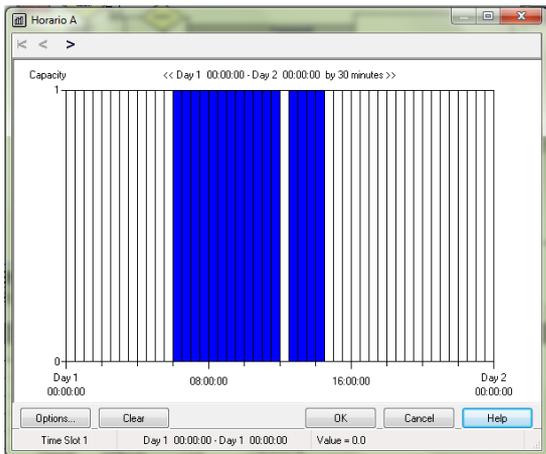


Figura 99: Horário do operador de banca 3, retificador 1, fresador 1 e operador de eletroerosão penetração 1

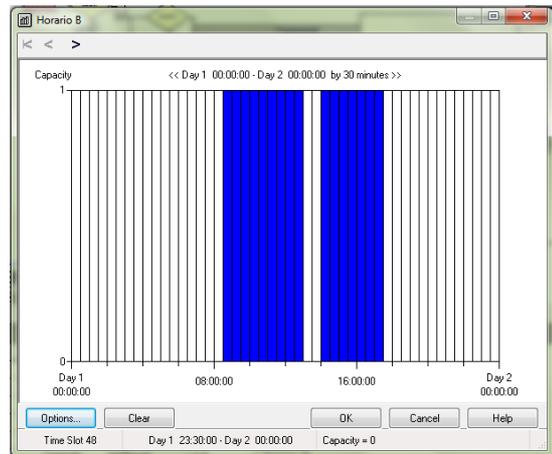


Figura 100: Horário do operador de eletroerosão fio e respetivos equipamentos

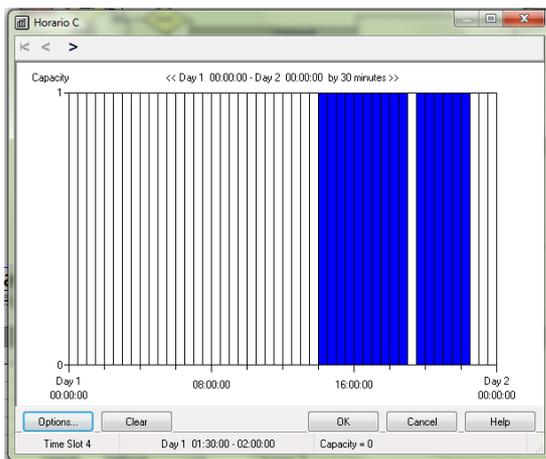


Figura 101: Horário do operador de banca 1, retificador 2, fresador 2, operadores de eletroerosão penetração 2 e 3 e da retificadora plana Jung

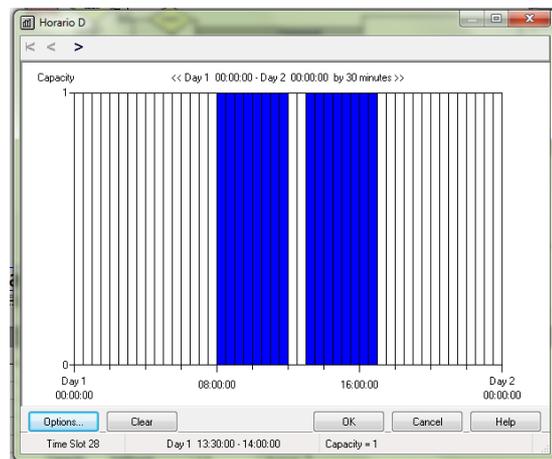


Figura 102: Horário do operador de banca 2

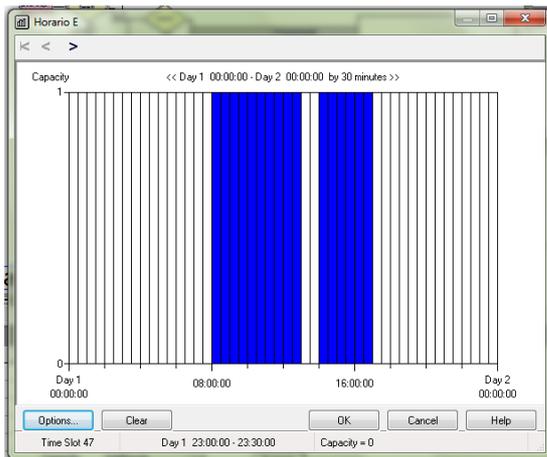


Figura 103: Horário do retificador 2

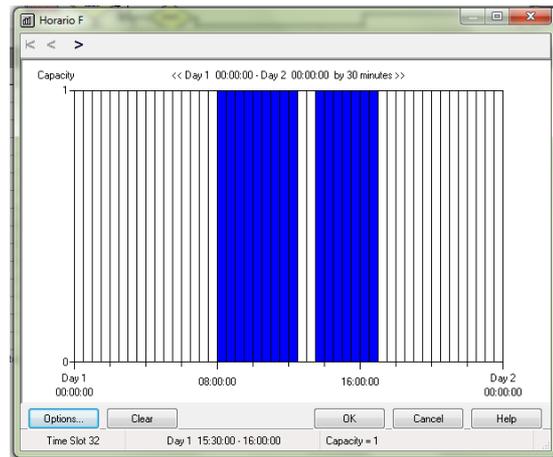


Figura 104: Horário do retificador 4 e das retificadoras cilíndricas

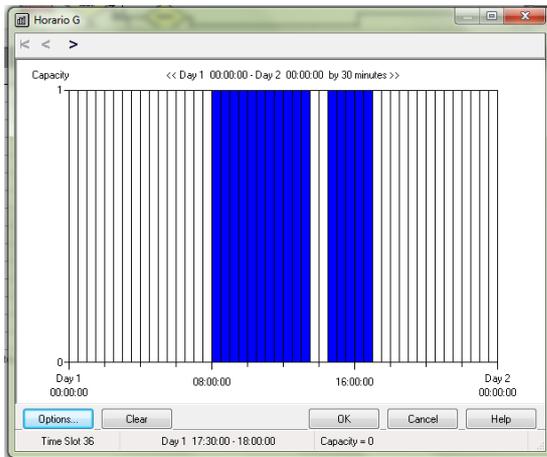


Figura 105: Horário do operador de torneamento e corte, serra de corte e torno

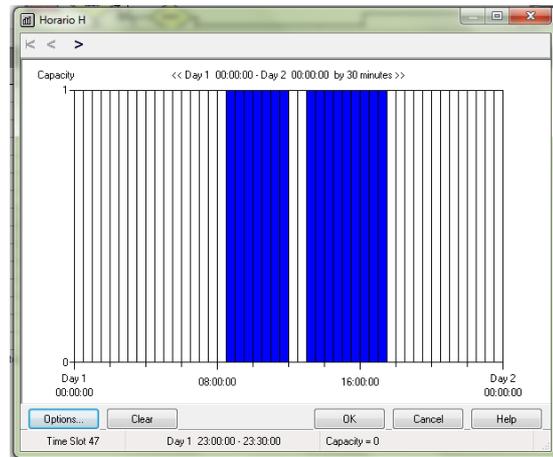


Figura 106: Horário do fresador 3 e das fresadoras de elétrodos

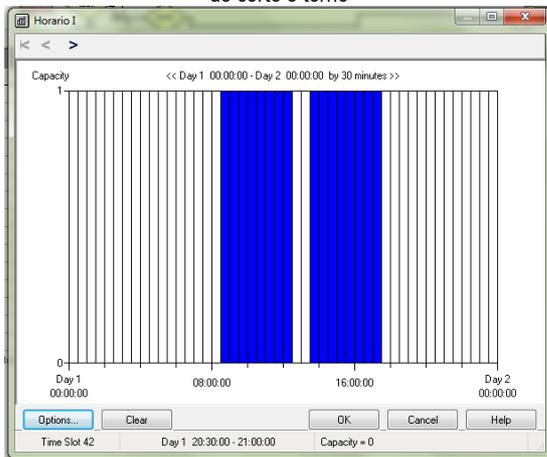


Figura 107: Horário do operador de banca 4, fresador 4, equipamento de gravação e fresadoras estrutura e de acabamento de postigos temperados

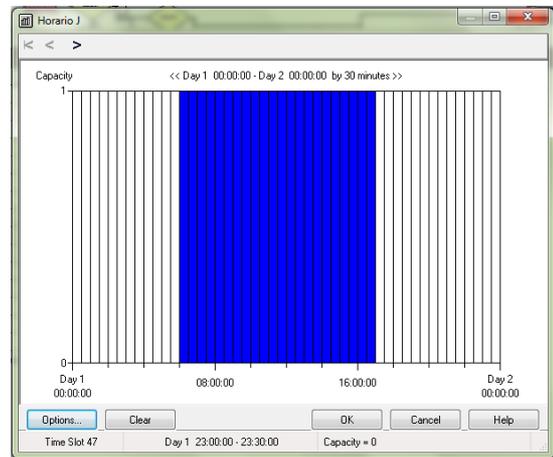


Figura 108: Horário da retificadora plana AMADA

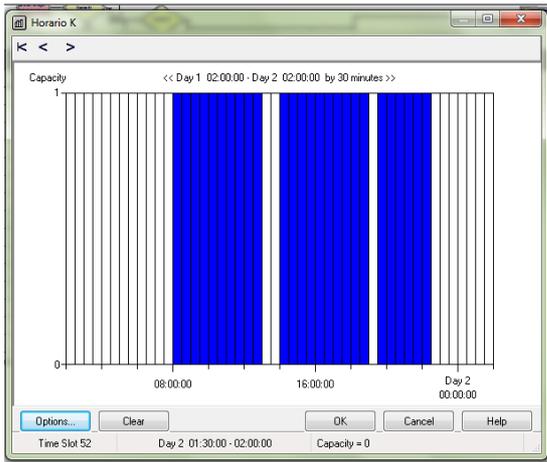


Figura 109: Horário da retificadora plana DANOBAT

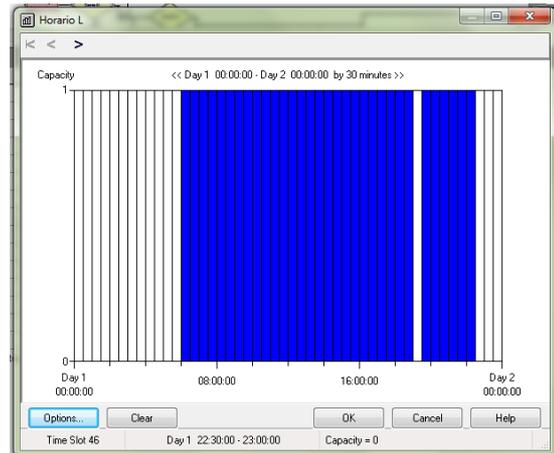


Figura 110: Horário das retificadoras plana E540 e E540II e das máquinas de corte de peças compradas, de furação e roscagem

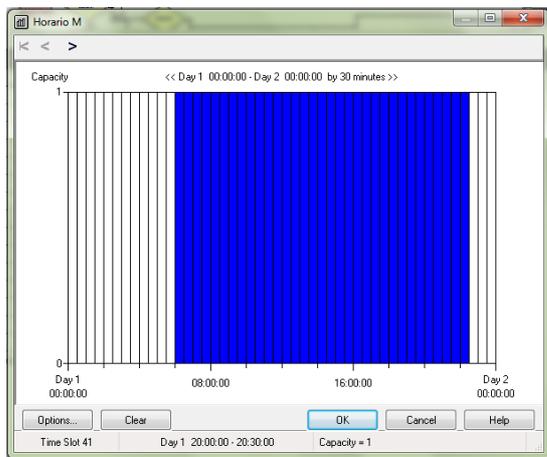


Figura 111: Horário dos equipamentos de eletroerosão penetração e da grua

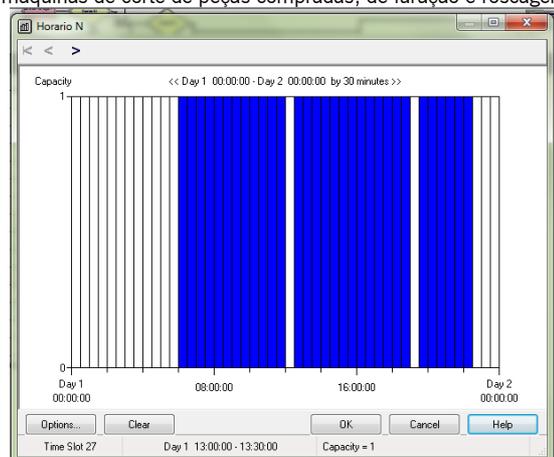


Figura 112: Horário das fresadoras de placas e postigos

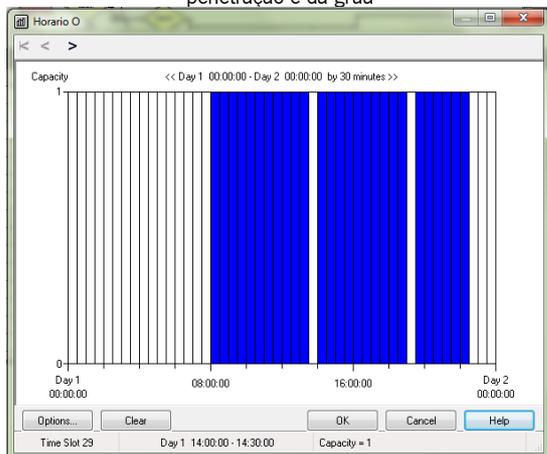


Figura 113: Horário do equipamento de furação rápida

ANEXO VIII – ENTRADA DAS ENTIDADES NO SISTEMA MODELADO

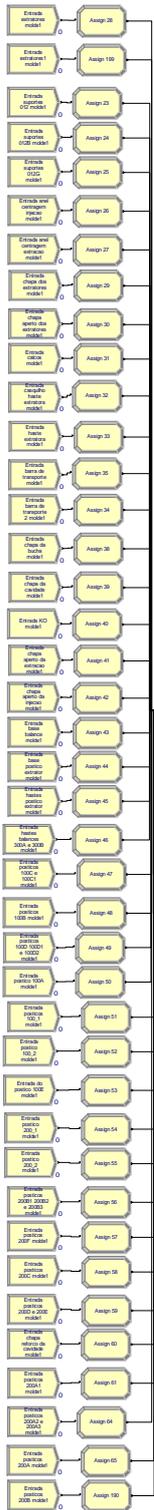


Figura 114: Entrada das peças do molde 1

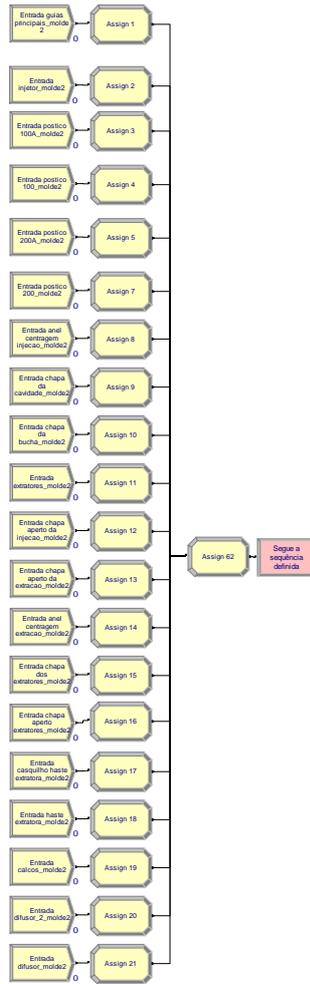


Figura 115: Entrada das peças do molde 2



Figura 116: Entrada das peças do molde 3

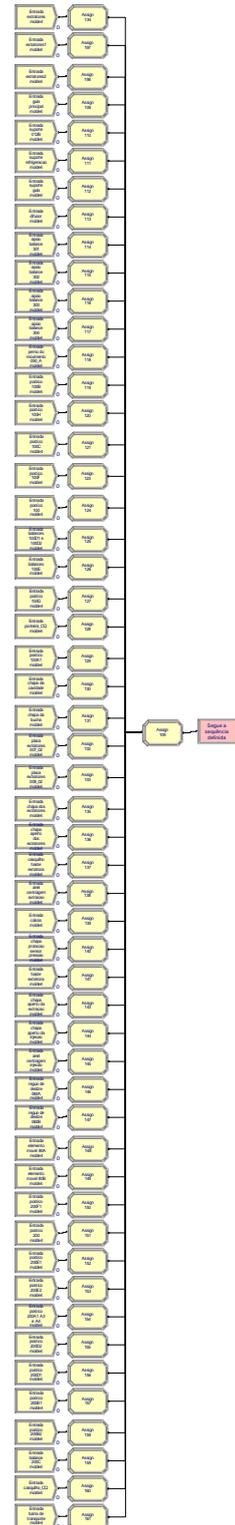


Figura 117: Entrada das peças do molde 4

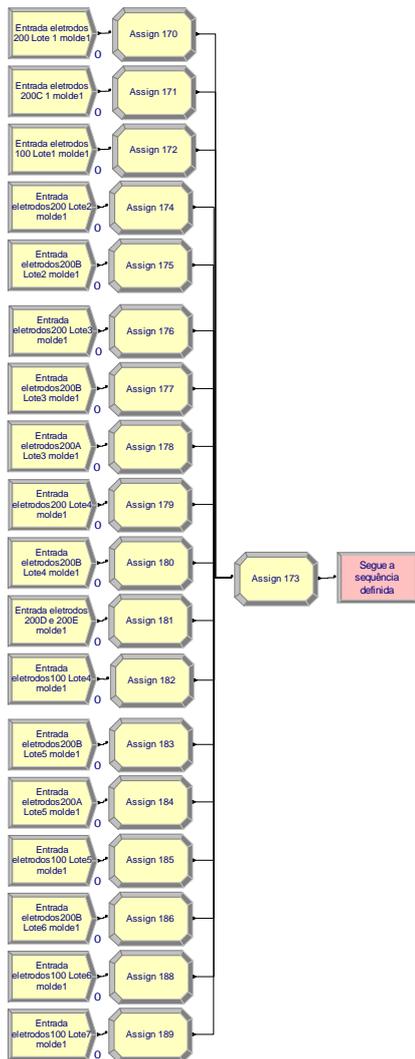


Figura 118: Entrada dos elétrodos do molde 1

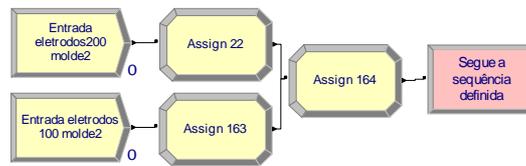


Figura 119: Entrada dos elétrodos do molde 2

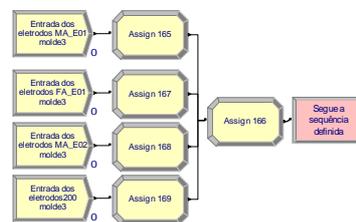


Figura 120: Entrada dos elétrodos do molde 3

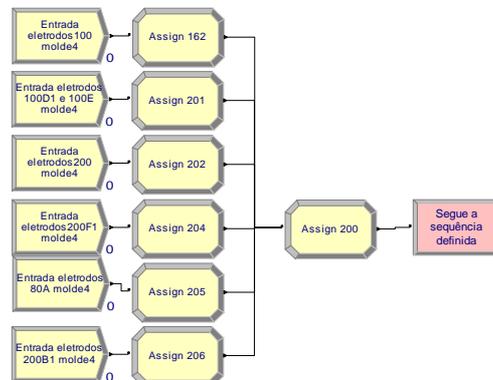


Figura 121: Entrada dos elétrodos do molde 4

ANEXO IX – PROPOSTA DE *LAYOUT*



Figura 122: Proposta de *layout*

Eliminação da parede
entre os setores