

**Especificação, simulação e otimização de uma linha
de produção para a empresa FrontWave**

João Tiago Ramos Xarepe

Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em

Engenharia e Gestão industrial

Orientadores: Prof. José Rui de Matos Figueira
Prof. Pedro Miguel Gomes Abrunhosa Amaral

Júri

Presidente: Prof. Miguel Simões Torres Preto

Orientador: Prof. Pedro Miguel Gomes Abrunhosa Amaral

Vogal: Prof^a. Virgínia Isabel Monteiro Nabais Infante

Novembro 2017

Resumo

A FrontWave, empresa na área da pedra natural, desenvolveu um produto inovador, o Stork® (um compósito de pedra e cortiça) tendo, conseqüentemente, idealizado uma linha de produção. A necessidade de industrialização é uma exigência para que seja possível comercializar o produto com credibilidade. A Frontwave pretende que o produto Stork seja um substituto da pedra natural trazendo propriedades muito diferenciadoras, tais como o incremento de resistência específica e isolamento térmico e acústico. O trabalho desenvolvido consiste no estudo dos recursos necessários para o desenvolvimento de uma linha de produção com capacidade de produzir o Stork®, segundo as especificações do produto. Para tal, recorreu-se a técnicas de simulação discreta baseada em eventos, com o objetivo de obter resultados do funcionamento de sistemas complexos como é o caso de uma linha de produção. Foi ainda importante simular diversos cenários com o intuito de assegurar a otimização. Através do software Simul8, foi possível desenvolver um modelo de simulação do processo produtivo. Este modelo permitiu não só definir os recursos necessários, bem como analisar os *bottlenecks* existentes na linha. Os resultados obtidos permitem concluir que para atingir as capacidades produtivas desejadas pela empresa têm de ter associados à linha obrigatoriamente três colaboradores e uma capacidade do forno que permita a colocação de 10 placas de material em simultâneo. Foi ainda possível concluir que se pode conseguir fazer um aumento de produção de cerca de 20% sem aumentar o número de colaboradores, o qual pode atingir 35% se se alocar quatro colaboradores

Palavras chave: Stork®, Simul8, indústria da pedra, gestão de linhas de produção, simulação de eventos discretos.

Abstract

FrontWave, a company in the field of natural stone, has developed an innovative product, the Stork® (a composite of stone and cork). And therefore, a production line was devised. This need for industrialization is a requirement to be able to market the product with credibility. Frontwave wanted Stork to be a substitute of the natural stone bringing very differentiating properties, such as the increase of specific resistance and thermal and acoustic insulation. The work carried out consists of the study of the necessary resources for the development of a production line with capacity to produce the Stork®, according to the specifications of the product. For this purpose, discrete event-based simulation techniques were used to obtain results from the operation of complex systems such as a production line. It was also important to simulate several scenarios to ensure optimization. Through the software Simul8, it was possible to develop a simulation model of the productive process. This model allowed not only to define the necessary resources, but also to analyze the bottlenecks in the line. The results obtained allow us to conclude that to reach the productive capacity desired by the company, three collaborators must be associated with the line and a kiln capacity that allows the placement of 10 plates of material simultaneously. It was also possible to conclude that an increase in production of around 20% can be achieved without increasing the number of employees, which can reach 35% if four employees are allocated.

Keywords: Stork®, Simul8, stone industry, production line management, discrete event simulation

Agradecimentos

Como não poderia deixar de ser, os meus primeiros agradecimentos vão para os meus orientadores de dissertação: o professor José Figueira e professor Pedro Amaral. É de salientar toda a paciência, conhecimento e disponibilidade que contribuíram para a realização deste projeto.

Quero também agradecer o apoio que a empresa Frontwave e os seus colaboradores me prestaram no decorrer da dissertação. Sem isso não seria possível alcançar e transpor os objetivos a que me propus.

Não podia deixar de agradecer à minha família que me apoio durante estes cinco anos. Quero ainda fazer um especial agradecimento à minha namorada que me apoiou e me transmitiu confiança durante o desenvolvimento deste projeto.

Por fim, e sendo esta dissertação o culminar de 5 anos de faculdade, quero agradecer a todos os meus amigos, e professores, que me acompanharam e tornaram estes anos inesquecíveis.

Índice

Resumo.....	ii
Abstract.....	iii
Agradecimentos	iv
Índice de Figuras	viii
Índice de Tabelas	xi
Lista de Acrónimos	xii
1. Introdução	1
1.1. Motivação	1
1.2. Objetivo da Dissertação	1
1.3. Estrutura da Dissertação.....	2
2. Análise de mercado.....	3
2.1. Stork® no mercado da pedra	3
2.2. A construção no mercado global	4
2.3. Produção de Pedra	4
2.4. Emprego.....	6
2.5. Trocas internacionais	7
2.6. Revestimentos compósitos	7
2.7. Conclusão do capítulo.....	8
3. Revisão Bibliográfica.....	9
3.1. Linha de Produção	9
3.2. Simulação.....	13
3.2.1. Classificação dos modelos de Simulação	14
3.2.2. Simulação de eventos discretos versus Simulação de sistemas dinâmicos ..	14
3.2.3. Sistema e componentes do sistema	15
3.2.4. Etapas para o desenvolvimento da simulação.....	16
3.2.5. Simul8.....	20
3.3. Conclusão.....	20
4. Descrição do problema	23
4.1. Empresa FrontWave	23
4.2. Estudo de caso	24
4.2.1. História do Produto Stork®.....	24

4.2.2.	Descrição do produto	24
4.2.3.	Cadeia de valor do produto	25
4.2.4.	Processo Produtivo	28
4.2.5.	Descrição dos objetivos da linha de produção.....	30
4.3.	Conclusões do capítulo.....	31
5.	Desenvolvimento do Caso de Estudo	33
5.1.	Formulação do problema	33
5.2.	Definição dos objetivos e o plano geral do projeto	33
5.3.	Conceptualização do modelo piloto	34
5.3.1.	Identificação de entidades relevantes	34
5.3.2.	Diagramas de Ciclos de Vida das Entidades	35
5.4.	Recolha e análise de dados relevantes	39
5.5.	Construção do modelo piloto em Simul8.....	42
5.6.	Verificação e Validação do modelo.....	57
5.7.	Conclusão do capítulo.....	64
6.	Análise e discussão de resultados	65
6.1.	Cenário 1: Análise produtiva com 3 colaboradores e 6 pedras/dia	66
6.2.	Cenário 2: Análise produtiva com 4 colaboradores e 6 pedras/dia	67
6.3.	Cenário 3: Análise produtiva com 3 colaboradores e 7 pedras/dia	68
6.4.	Cenário 4: Análise produtiva com 4 colaboradores e 7 pedras/dia	69
6.5.	Cenário 5: Análise produtiva com 4 colaboradores e 8 pedras/dia	70
6.6.	Comparação entre os cenários.....	71
6.7.	Conclusão do capítulo.....	75
7.	Conclusão da dissertação.....	77
	Referências	79
	Anexos.....	82
	Anexo A – Caracterização da cadeia de valor do produto	82
	Anexo B – Diagrama Ciclo de Vida do Colaborador	83
	Anexo C – Diagrama Ciclo de Vida da Pedra	84
	Anexo D – Diagrama Ciclo de Atividade	85
	Anexo E – Ilustração das restantes atividades pertencentes ao modelo de simulação	90

Anexo F – Verificação das atividades fictícias 95

Índice de Figuras

Figura 1 – Camadas constituintes do produto Stork® (Ribeiro, 2016)	25
Figura 2 – Cadeia de Valor Global do Stork® fornecida pela empresa.....	26
Figura 3 – Sistema Fabril adaptada à cadeia de valor fornecida pela empresa.....	27
Figura 4 – Diagrama de etapas de produção (adaptado de Gomes, 2016)	29
Figura 5–Especificações de tempo, temperatura e humidade relativa no processo produtivo	29
Figura 6 – Processo de laminagem detalhado (adaptado Gomes, 2016)	30
Figura 7 – Exemplo de linha reta básica (adaptado de Battaia & Dolgui, 2013).....	10
Figura 8 – Linhas reta com múltiplos postos (adaptado Battaia & Dolgui, 2013).....	10
Figura 9 – Exemplo de linha em forma de "U" (adaptado de Battaia & Dolgui, 2013)	11
Figura 10 – Exemplo de modelo de linha circular (adaptado de Battaia & Dolgui, 2013)	11
Figura 11 – Associação de linhas primárias com secundárias (adaptado Azzi et al., 2012). 12	
Figura 12 – As atividades na simulação (adaptado de Tsai, 2002).....	14
Figura 13 – Passos para o estudo da simulação (adaptado de Banks et al., 2005)	19
Figura 14 – Diagrama Ciclo de vida do Forno	35
Figura 15 – DCV do MA1	36
Figura 16 – DCV da MA2	36
Figura 17 – DCV da ML1	37
Figura 18 – DCV da ML2	37
Figura 19 – DCV da Prensa	38
Figura 20 – DCV da Ponte Rolante.....	38
Figura 21 – DCV da Mesa de Refiar	39
Figura 22 – Modelo de simulação no Simul8.....	43
Figura 23 – Propriedades do Relógio no Simul8	44
Figura 24 – Turnos criados para o modelo de simulação.....	44
Figura 25 – Configuração do Travel Time.....	45
Figura 26 – Recursos associados ao modelo de simulação	45
Figura 27 – Start Point (Chegada da Pedra)	46
Figura 28 – Configurações da atividade de Transporte para o Forno (1).....	47
Figura 29 – Configurações da atividade Secagem da Pedra	47
Figura 30 – Configuração da fila de espera para o Bloco 2	48
Figura 31 – Localização da Atividade Fictícia.....	49
Figura 32 – Configurações da Atividade Fictícia	49
Figura 33 – Configuração da Atividade Preparar Fibra	50
Figura 34 – Configurações da Laminagem (1)	50
Figura 35 – Posicionamento da AF (3)	51
Figura 36 – Configurações da atividade fictícia, AF (3).....	51
Figura 37 – Posicionamento da AF (4)	52
Figura 38 – Configurações AF (4).....	53

Figura 39 – Configurações da PósCura da Pedra	53
Figura 40 – Configuração da fila de espera	54
Figura 41 – Configurações da atividade Refiar a Pedra	54
Figura 42 – Configuração do End Point	55
Figura 43 – Modelo de Simulação completo do Simul8.....	56
Figura 44 – Ocupação da fila de espera após Start Point	58
Figura 45 – Resultados da Secagem da Pedra	58
Figura 46 – Gráficos de apoio da Secagem da Pedra.....	58
Figura 47 – Resultados da fila de espera Retirar do Forno (1)	59
Figura 48 – Resultados associados à PósCura da Pedra	59
Figura 49 – Resultados da Fila de Espera Retirar da Prensa (2).....	59
Figura 50 – Resultados associados à atividade Refiar a Pedra	60
Figura 51 – TimeView da primeira laminagem	60
Figura 52 – TimeView da segunda laminagem.....	61
Figura 53 – Resultados associados ao Finish Point	61
Figura 54 – Dados colocados no Trial Calculator	63
Figura 55 – Indicadores de desempenho do modelo de simulação	64
Figura 56 – Atividades e filas de espera que variam com as mudanças de cenário.....	65
Figura 57 – Fila de espera do Colocar na Prensa (1).....	71
Figura 58 – Análise dos resultados das filas de espera da prensa	71
Figura 59 – DCV do Colaborado.....	83
Figura 60 – DCV da Pedra.....	84
Figura 61 – DCA Bloco 1	85
Figura 62 – DCA Bloco 2	86
Figura 63 – DCA Bloco 3	87
Figura 64 – DCA Bloco 4	88
Figura 65 – DCA Bloco 5	89
Figura 66 – Configurações da Atividade Colocar no forno	90
Figura 67 – Configurações da atividade Retirar do Forno (1)	90
Figura 68 – Configurações da atividade Colocar na MA2 (1)	90
Figura 69 – Configurações da atividade Transporte para o Buffer (1)	91
Figura 70 – Configuração da atividade Colocar na MA2 (2).....	91
Figura 71 – Configurações da atividade Transporte para ML1	91
Figura 72 – Configurações do Colocar na ML1 (1).....	91
Figura 73 – Configurações da Colocar na Prensa (1) e da Aplicação de Pressão (1).....	92
Figura 74 – Configurações da Retirar da Prensa (1) e Colocar na ML2 (1)	92
Figura 75 – Configuração da atividade Colocar na MA1 (1).....	92
Figura 76 – Configurações do Transporte para o Buffer (2).....	92
Figura 77 – Configurações da Retirar da Prensa (2)	93
Figura 78 – Configurações da Colocar na ML1 (2) e Colocar na MA2 (3)	93

Figura 79 – Configurações de Transporte para o Buffer (3)	93
Figura 80 – Configurações da Colocar na MA2 e da Colocar no Forno (2)	93
Figura 81 – Configuração da atividade Retirar do Forno (2)	94
Figura 82 – Configurações da atividade Transporte para PS.....	94
Figura 83 - Configurações da atividade Transporte para Refiar.....	94
Figura 84 - Configurações Transporte para PA	94
Figura 85 – Resultados associados à AF (2).....	95
Figura 86 – Resultados associados à AF (3).....	95
Figura 87 – Resultados associados à AF (4).....	95

Índice de Tabelas

Tabela 1 – PIB Mundial, em milhares \$ EUA (adaptado de Montani ,2015)	4
Tabela 2 – Produção Líquida em milhares m ³ (adaptado de Montani ,2015)	5
Tabela 3 – Produção Líquida em milhares tons (adaptado de Montani ,2015).....	5
Tabela 4 – Produção mundial de pedreiras (adaptado de Montani, 2015).....	6
Tabela 5 – MO nos principais produtores de Pedra (adaptado Montani, 2015).....	7
Tabela 6 – Comparação entre o SED e o SD.....	15
Tabela 7 - Tempos associados à produção	42
Tabela 8 – Ícones do Simul8.....	45
Tabela 9 – Parâmetros em análise em cada cenário	65
Tabela 10 – Valores de controlo do Cenário 0	66
Tabela 11 – Valores de controlo do Cenário 1	67
Tabela 12 – Valores de controlo do Cenário 2	68
Tabela 13 - Valores de controlo do Cenário 3	69
Tabela 14 – Valores de controlo do Cenário 4	69
Tabela 15 – Valores de controlo do Cenário 5	70
Tabela 16 – Dados de apoio à Análise 2	73
Tabela 17 – Caracterização da cadeia de valor do produto	82

Lista de Acrónimos

- DCA** - Diagramas de Ciclo de Atividade
- DCV** - Diagramas de Ciclo de Vida
- EU** – União Europeia
- EUA** - Estados Unidos da América
- FW**- FrontWave
- HR**- Humidade Relativa
- IST** - Instituto Superior Técnico
- MA1** – Mesa de apoio 1
- MA2** – Mesa de apoio 2
- ML1** – Mesa de laminação 1
- ML2** – Mesa de laminação 2
- MO** – Mão-de-obra
- MP** – Matéria-prima
- PA** – Produto Acabado
- PIB** - Produto Interno Bruto
- PS** – Ponto de stock
- PVF** - Produtos em vias de fabrico
- SED** - Simulação de Eventos Discretos
- SD** - Simulação de Sistemas Dinâmicos

1. Introdução

Neste capítulo é explicitada a motivação que conduziu ao desenvolvimento do tema da dissertação; os objetivos que se pretendem alcançar; a metodologia a utilizar de modo a solucionar o problema apresentado, bem como a forma como este documento se encontra estruturado.

1.1. Motivação

No período de 2008 a 2013, o setor industrial da construção civil sentiu o impacto da grande crise que afetou a Europa. Esta situação levou a uma depressão não só a nível da realização da construção convencional, mas também no consumo de materiais e produtos inovadores, frequentemente utilizados em novas tipologias de construção. Estes eventos tiveram particular impacto, uma vez que a Europa encontrava-se numa altura em que este cenário tinha vindo a ganhar alguma importância estratégica ao nível de implementação no mercado (FEPICOP, 2013).

Segundo a Euroconstruct (2016), a crise funcionou como um travão ao bom desempenho por parte do sector da construção civil na economia europeia. Só a partir do ano de 2013, os resultados têm vindo gradualmente a crescer, prevendo-se que até 2018 o crescimento se mantenha. É de salientar que a situação descrita anteriormente teve grande impacto nas empresas de pequena e média dimensão em Portugal, levando muitas ao seu encerramento. Aquelas que conseguiram subsistir optaram por inovar as suas técnicas ou modelos de construção, podendo agrupar-se da seguinte forma em (Breu *et al.*, 2008):

- Empresas que trabalham na reabilitação de edifícios. Sendo Portugal um país rico em prédios antigos e monumentos históricos, e que necessitam de recuperação, esta vertente da construção acaba por ter muita procura.
- Empresas que fizeram investimentos em inovação na construção utilizando novas técnicas, tanto a nível de maquinarias como no recurso a novos produtos.

Ambas as situações criam oportunidades de negócio para as empresas que se focam no desenvolvimento de novos produtos e/ou tecnologias de aplicação. Sendo que esta situação se sente internacionalmente, é de esperar que existam oportunidades de mercado para as empresas nacionais.

1.2. Objetivo da Dissertação

Pretende-se responder a uma série de condições essenciais para conseguir atingir o objetivo proposto pela empresa FrontWave (FW). Esta empresa trabalha na área da consultoria e engenharia e desenvolvimento de novas tecnologias, focando-se principalmente no sector da pedra natural e seus derivados (Instituto Superior Técnico, 2016).

O objetivo pretendido pela empresa consiste no desenvolvimento de uma linha de produção associada a um produto proprietário, o Stork®. O produto Stork® consiste num compósito de

pedra e aglomerado de cortiça, desenvolvido para ser aplicado essencialmente em revestimentos interiores e exteriores de edifícios.

Tendo em consideração que o projeto se centra no desenvolvimento de uma linha de produção com uma determinada capacidade produtiva colocam-se uma série de condições divididas em dois tipos: i) a primeira, relacionada com os recursos necessários para produzir as quantidades anuais desejadas; ii) a segunda, que se prende com a análise de alternativas viáveis, as quais permitirão atingir uma otimização desta mesma produção. Para que seja possível o objetivo proposto é necessário a idealização de um modelo de simulação.

Sendo assim, pode-se admitir que as condições que se colocam numa primeira fase sejam: a quantidade de máquinas; número de colaboradores outros equipamentos acessórios à produção. Após obtenção do primeiro objetivo pretendido, foi ainda alvo de análise a realização de uma otimização da linha de produção.

1.3. Estrutura da Dissertação

A estrutura desta dissertação foi desenvolvida com base nos objetivos traçados para o mesmo, e encontra-se dividida em 6 capítulos:

- Capítulo 2: Neste capítulo será caracterizado o mercado em que o produto em questão se insere e também os possíveis substitutos.
- Capítulo 3: Será apresentado o estudo de caso em análise. Para tal, é feita uma descrição explicativa do produto, de toda a Cadeia de valor associada ao mesmo, com maior ênfase no processo produtivo e em todas as condições necessárias, apresentadas pela empresa para o desenvolvimento das linhas de produção.
- Capítulo 4: Será realizada a revisão bibliográfica referente aos temas abordados no desenvolvimento do caso de estudo, isto é, aos métodos relacionados com linhas de produção que recorram a técnicas idênticas ou iguais às necessárias para a produção do produto desejado.
- Capítulo 5: Será descrito o método utilizado para o desenvolvimento da linha (sem aplicação direta ao caso de estudo) e o tipo de informações que serão necessárias para a sua construção. Posteriormente será desenvolvido o modelo e realizada a validação e verificação do mesmo. Por último, serão desenvolvidos cenários que permitam à empresa avaliar novas perspetivas ao nível da quantidade produtiva.
- Capítulo 6: Serão apresentadas as conclusões e o trabalho futuro que será desenvolvido após a conclusão desta dissertação.

2. Análise de mercado

De seguida será desenvolvida uma análise referente ao mercado da pedra, visto ser neste que se insere o produto Stork®. Apesar deste produto apresentar características que permitam substituir a pedra, o facto é que este também vai estar em concorrência direta com os componentes denominados por *Stone Light* e por Revestimentos Compósitos.

O *Stone Light* é, tal como o nome indica, pedra leve. Este tipo de produto é constituído por uma pedra de menor espessura colada com um compósito que melhora as suas características físicas, tais como, ligas metálicas ou ninhos de abelha. Este produto é também um possível substituto da pedra, dado que tem as mesmas características e pode ser aplicado nas mesmas situações (Stonepanels, 2013).

No que toca aos Revestimentos Compósitos são produtos criados em laboratório que substituem a pedra a nível de revestimentos. Existem diferentes tipos e utilidades para os mesmos. De entre os vários tipos de revestimentos salientamos os componentes em *sandwich* e os fibrocimentos que são as gamas mais baixas deste tipo de produto. Existem ainda os fenólicos e *alucobonds*, que, para além de um objetivo de revestimento, têm também uma preocupação decorativa.

A informação referente ao mercado da pedra tem por base o relatório realizado no ano de 2015, referente ao ano de 2014. Contudo, durante a investigação não foi encontrada grande diversidade de documentos válidos sobre a análise de mercado, sendo que a fonte principal deste documento é o relatório desenvolvido por Montani (2015).

2.1. Stork® no mercado da pedra

O mercado da pedra tem uma grande diversidade de aplicações: placas, ladrilhos, pavimentos, revestimentos interiores e exteriores, fachadas, bancadas e mesas, para ornamentação (Design), funerárias e entre outras.

O produto Stork® foi criado com o objetivo de melhorar um produto já existente e ganhar cota nos mercados do revestimento, pavimento, fachadas, bancadas, mesas e para design. Comparando este produto com a pedra observam-se melhorias ao nível da resistência mecânica, do impacto e maior flexibilidade. Estas características também permitem maior durabilidade Stork® (Frontwave, 2016).

Para além das características físicas anteriormente referidas, existem mais duas que aquando da aplicação constituem uma mais valia para o produto. A primeira está relacionada com o peso do m² que é muito inferior em comparação à pedra, tornando o produto mais fácil de aplicar. A segunda está relacionada com a capacidade isoladora que o produto Stork® possui, permitindo, reduzir o investimento necessário em isolamento térmico e acústico. E por último trás grandes melhorias a nível da resistência específica.

2.2. A construção no mercado global

O Produto Interno Bruto (PIB) mundial mantém-se em crescimento, apesar das fortes tensões políticas e militares, mas continua a estar muito mal dividido, pois, os cinco principais países (Estados Unidos da América (EUA), China, Japão, Alemanha e França) representam 50% do rendimento global, tal como se pode constatar na Tabela 1.

A construção civil é um importante negócio para o desenvolvimento de algumas economias, inclusive para os países do terceiro mundo (países subdesenvolvidos) e apresenta um crescimento equilibrado nos diversos países. Contudo existe um crescimento mais pronunciado na China, seguido do EUA e da Rússia, enquanto que, na Europa, ainda não existe um crescimento evidente, principalmente em Portugal e Espanha. Num mundo interligado existem casos que atingiram limites históricos, mas as atividades prioritárias e de qualidade continuam muito longe dos resultados atingidos nos melhores anos.

Analisando a evolução económica mundial, a construção parece já ter ultrapassado o período mais crítico, apesar de continuar a apresentar as características de ciclo, em vez das de uma expansão forte e sistemática.

Tabela 1 – PIB Mundial, em milhares \$ EUA (adaptado de Montani ,2015)

Países	2011		2012		2013	
	000 Dólar	%	000 Dólar	%	000 Dólar	%
EUA	15075,7	21,57	16244,6	22,49	16799,7	22,59
China	7298,1	10,44	8221,0	11,38	9181,4	12,34
Japão	5866,5	8,39	5960,3	8,25	4901,5	6,59
Alemanha	3607,4	5,16	3429,5	4,75	3635,9	4,89
França	2778,1	3,97	2614,0	3,62	2737,4	3,68
Reino Unido	2431,3	3,48	2476,6	3,43	2535,8	3,41
Brasil	2492,9	3,57	2253,0	3,12	2242,9	3,02
Rússia	1850,4	2,65	2029,8	2,81	2118,0	2,85
Itália	2198,7	3,15	2014,1	2,79	2071,9	2,79
Índia	1826,8	2,61	1841,7	2,55	1870,7	2,52
Canadá	1739,0	2,49	1821,4	2,52	1825,1	2,45
Austrália	1486,9	2,13	1541,7	2,13	1505,3	2,02
Espanha	1479,6	2,12	1323,5	1,83	1358,7	1,83
México	1154,0	1,65	1177,4	1,63	1258,5	1,69
Coreia do Sul	1116,2	1,60	1128,5	1,56	1221,8	1,64
Restantes	17497,6	25,03	18139,3	25,12	19115,4	25,70
Mundo	69899,2	100,00	72216,4	100,00	74380,0	100,00

2.3. Produção de Pedra

A tendência de crescimento de produção de pedra manteve-se pelo quinto ano consecutivo, após a crise, atingindo assim uma marca histórica de 100 milhões de metros cúbicos em matéria-

prima (MP), isto é bloco de pedras, e cerca de 80 milhões de toneladas em termos de produto acabado, como pode ser observado nas Tabela 2 e Tabela 3 respetivamente.

Tabela 2 – Produção Líquida em milhares m³ (adaptado de Montani ,2015)

Países	Extração Bruta 000 m ³	Extração de Resíduos 000 m ³	Produção Bruta 000 m ³	Resíduos de Processamento 000 m ³	Produto Processado 000 m ³
2003	57 000	29 200	27 800	11 400	16 400
2004	61 650	31 550	30 100	12 300	17 800
2005	64 750	33 150	31 600	12 950	18 650
2006	70 450	36 100	34 350	14 100	20 250
2007	78 500	40 200	38 300	15 750	22 550
2008	79 600	40 700	38 900	15 950	22 950
2009	79 150	40 450	38 700	15 900	22 800
2010	84 450	43 150	41 300	12 350	28 950
2011	87 850	44 900	42 950	11 600	31 350
2012	93 500	47 800	45 700	18 700	27 000
2013	98 450	50 300	48 150	19 750	28 400
2014	103 350	52 800	50 550	20 750	29 800

Tabela 3 – Produção Líquida em milhares tons (adaptado de Montani ,2015)

Países	Extração Bruta 000 tons	Extração de Resíduos 000 tons	Produção Bruta 000 tons	Resíduos de Processamento 000 tons	Produto Processado 000 tons
2003	153 750	78 750	75 000	30 750	44 250
2004	166 500	85 250	81 250	33 300	47 950
2005	174 750	89 500	85 250	34 950	50 300
2006	190 250	87 500	102 750	38 000	64 750
2007	212 000	108 500	103 500	42 500	61 000
2008	215 000	110 000	105 000	43 000	62 000
2009	213 750	100 250	113 500	42 850	70 650
2010	228 000	116 500	111 500	45 715	65 785
2011	237 200	121 200	116 000	47 560	68 440
2012	252 500	129 000	123 500	50 630	72 870
2013	265 800	135 800	130 000	53 300	76 700
2014	279 000	142 500	136 500	56 000	80 500

A maior contribuição para o crescimento da produção é proveniente dos países asiáticos, que contribuíram com dois terços do total, enquanto a Europa e a América mantiveram as suas posições quantitativas. Como pode ser observado na Tabela 4, os países Asiáticos estão a ganhar cada vez mais peso no que toca aos níveis de produção. A China, seguida da Índia, são os dois países com maior quantidade produzida, o que corresponde a um peso de 46% do

volume de pedra extraída no mundo. Os principais concorrentes, Turquia, Brasil, Itália e Espanha, neste momento, estão em estagnação.

Tabela 4 – Produção mundial de pedreiras (adaptado de Montani, 2015)

Zonas	000 tons		000 placas produzidas		
	Extração	Peso %	Total	Desperdício	Liquido
28 países da EU	22 500	16,48	416	170	246
Restante Europa	2 500	1,83	46	19	27
Subtotal	25 000	18,32	462	189	273
América do Norte	3 500	2,56	65	27	38
América Latina	14 500	10,62	268	110	158
Subtotal	18 000	13,19	333	137	196
China	42 500	31,14	786	322	464
India	20 000	14,65	370	153	217
Restante Ásia	22 500	16,48	416	170	246
Subtotal	85 000	62,27	1 572	645	927
África	8 000	5,86	148	60	88
Oceânia	500	0,37	10	4	6
TOTAL	136 500	100,00	2 525	1 035	1 490

É importante referir que a produção de pedra está concentrada nos 14 principais países produtores, visto que cada um deles coloca no mercado no mínimo 1 milhão de toneladas ano. A posição da UE só conseguiu manter o nível de produção por ter entrado mais um país, respetivamente a Croácia. Os três principais produtores na zona euro são Itália, Espanha e Portugal, representando dois terços das pedras extraídas no território dos 28 países.

2.4. Emprego

A indústria da pedra foi considerada adequada para promover processos de desenvolvimento com o objetivo de aproximar a relação entre o investimento produtivo e o emprego, principalmente nas etapas de processamento. Com o aparecimento da industrialização, principalmente com o recurso ao diamante e à computadorização de processos, a preocupação com o trabalho humano começou a ser mais virada para pouca mão-de-obra, mas qualificada e não tanto para um recurso a um grande número de trabalhadores.

A quantidade de mão-de-obra existente nas pedreiras é bastante difícil de contabilizar, devido às grandes variações provocadas pela sazonalidade e pelas diferentes necessidades de aquisição de MP, sendo possível apenas contabilizar a mão-de-obra (MO) existente nas indústrias de transformação e nos laboratórios de investigação. Os valores de empregabilidade podem ser observados no Tabela 5, em que é possível verificar que, na EU, existem cerca de 225 mil trabalhadores e que os países com maior empregabilidade nesta área são a China e a Índia. A China lidera de forma abrupta a lista dos países empregadores, devido não só a uma grande exploração mineira que ocorre no país, mas também aos atrasos tecnológicos em relação a Portugal.

Tabela 5 – MO nos principais produtores de Pedra (adaptado Montani, 2015)

Países	000 MO no mercado da pedra	Peso %	000 População ativa (PA)	Pedra: PA permilagem
China	288 000	40,6	790 000	0,36
EU	164 800	23,2	225 500	0,73
Índia	78 700	11,1	465 000	0,17
Turquia	37 800	5,3	24 600	1,54
Brasil	36 000	5,1	91 500	0,39
EUA	29 430	4,1	154 000	0,19
Vietname	21 150	3,0	44 000	0,48
Japão	20 730	2,9	66 500	0,31
Irão	11 180	1,6	26 250	0,43
Rússia	10 680	1,5	73 500	0,15
Palestina	7 000	1,0	5 800	1,21
Omã	3 250	0,5	950	3,42
Noruega	710	0,1	2 400	0,30
Subtotal	709 430	100	1 970 000	0,36

Em suma, os grandes números de empregabilidade nesta área são muito importantes porque o emprego, por um lado, é a confirmação prioritária de que a globalização não o comprometeu, mas, por outro é visível a capacidade que o mercado da pedra tem em se espalhar por todo o mundo, devido à existência de uma grande procura, tendo em conta a natureza desta MP e, ao grande investimento que é feito nesta área.

2.5. Trocas internacionais

Durante o ano de 2014, as trocas internacionais subiram pelo quinto ano consecutivo, o que nos leva a concluir que as quedas que tinham acontecido no ano de 2009 foram finalmente ultrapassadas. Assim, os volumes das exportações subiram para os 57 milhões, aumentando assim 6,7 % em comparação com o ano anterior. O aumento da produção em 3,7 %, e o crescimento das trocas comerciais que começou a ser superior ao incremento do consumo interno, permite-nos compreender que as exportações estão a ser muito importantes para o crescimento da indústria.

2.6. Revestimentos compósitos

Os revestimentos compósitos estão presentes em diversos mercados, entre os quais podemos destacar a indústria aeronáutica, automóvel e marítima e ainda na área da balística e uma nova área que está em exploração que é a da construção civil. Pode-se inserir o produto Stork® e todos os outros compostos referidos anteriormente neste setor.

Segundo o Mr. Rohan (2015) espera-se que até 2020 os valores do mercado dos materiais compósitos rondará os 24,9 Biliões de dólares americanos.

2.7. Conclusão do capítulo

Pode-se assim concluir que o mercado em que o produto Stork® se insere é o da pedra, entrando ainda, em disputa com os seus substitutos diretos, Stone Light e Revestimentos Compósitos por um espaço no mercado.

Com a análise realizada sobre o mercado da pedra pode-se chegar às seguintes conclusões:

- O PIB mundial tem continuado a subir. Contudo continua a existir uma grande diferença no PIB, entre os países, visto que quase metade do PIB mundial está dividido apenas por 5 países.
- A construção civil é um importante negócio para o desenvolvimento das economias de alguns países, sendo a principal fonte de rendimento de cada um deles. É de notar que a construção já ultrapassou o período mais crítico, mas ainda apresenta características de ciclo, em vez de uma expansão forte.
- Nos últimos cinco anos a tendência de crescimento tem-se mantido, graças aos países asiáticos que contribuíram com dois terços do total, enquanto a Europa e a América mantiveram os seus níveis.
- As exportações no mercado da Pedra estão a revestir-se, cada vez mais, de importância para a economia dos países.

A situação atual do mercado da pedra é propícia ao aparecimento de produtos inovadores, como o Stork®. A construção civil já ultrapassou o período mais crítico, havendo espaço para a procura de novas tecnologias.

Após o desenvolvimento da análise de resultados será então realizado a revisão bibliográfica onde se pretende estudar as áreas teóricas mais relevantes para a dissertação.

3. Revisão Bibliográfica

Neste capítulo é apresentada uma revisão bibliográfica dos trabalhos de investigação referentes ao desenvolvimento das linhas de produção. Por conseguinte, são explorados os vários tipos de linhas existentes e, de seguida, explorados os métodos de simulação de um modelo que levará a alcançar os objetivos pretendidos pela empresa.

3.1. Linha de Produção

Uma linha de produção é normalmente utilizada, quando existe a necessidade de fazer uma produção de maiores quantidades. Este conceito consiste numa sequência de postos de trabalho que executam tarefas repetitivas (Avikal *et al.*, 2013; Chiang & Urban, 2006).

Quando se está a desenvolver o projeto de uma linha de produção, existe uma série complexa de aspetos que é necessário ter em conta. Entre eles encontramos: o desenvolvimento do produto, a escolha de processos, o *layout* da linha e o seu balanceamento. Devido à complexidade destes aspetos é importante que as questões que se levantam sejam analisadas separadamente (Avikal *et al.*, 2013).

O balanceamento de uma linha pode ser definido como o processo de atribuição de tarefas às estações de trabalho, que constituem a linha, de forma a que a quantidade de trabalho existente em cada uma seja aproximadamente igual. Quando estão a ser estipuladas as tarefas a realizar em cada posto de trabalho, é necessário ter em conta as precedências existentes entre si (Battaia & Dolgui, 2013).

Segundo Avikal *et al.* (2013), o tempo de processamento das tarefas é uma das características mais importantes no balanceamento de linhas de produção. Mas independentemente disso, existem mais algumas características que é necessário ter em conta, tais como a ergonomia, a probabilidade de falha, os custos, entre outras.

No balanceamento de uma linha, a unidade de trabalho é a tarefa, e a cada tarefa está associado um tempo ao qual se dá o nome de tempo de tarefa. A soma de todos os tempos de tarefa associados à produção de um produto dá o tempo de processamento associado a esse produto. Por vezes, devido à necessidade de carga/descarga, à mudança de material de trabalho, às necessidades pessoais dos trabalhadores e à fadiga que vai sendo acumulada ao longo do dia, é adicionado um tempo suplementar ao de processamento (Boysen *et al.*, 2007).

Segundo Battaia & Dolgui (2013) o tempo de processamento dos postos de trabalho não pode exceder o tempo de ciclo, o qual consiste numa restrição calculada através do rendimento da linha. No entanto o cálculo do tempo de processamento nem sempre é simples, devido à necessidade de ter em conta o tipo de *layout* da linha, os equipamentos utilizados, entre outras variáveis.

Existem diversos tipos de linhas de produção. Os *layouts* de linha mais frequentes na literatura são apresentados seguidamente. É importante referir que a escolha do *layout* da linha define as regras para o processamento de tarefas nas estações de trabalho (Battaia & Dolgui, 2013).

No caso das linhas retas básicas, a cada estação de trabalho é atribuído um conjunto de tarefas, e as tarefas são executadas consecutivamente, tendo em conta as precedências, tal como pode ser observado na Figura 1 (Kara *et al.*, 2011).

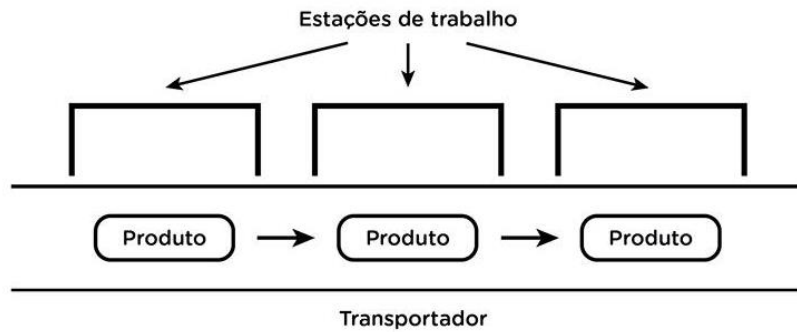


Figura 1 – Exemplo de linha reta básica (adaptado de Battaia & Dolgui, 2013)

Ainda relacionado com as linhas básicas retas, existe um outro *layout* muito idêntico em que a única alteração é que dentro de cada posto de trabalho existem pequenos postos de trabalho. Estes pequenos postos de trabalho podem estar agrupados de três formas distintas: em paralelo, em série ou em misto (composto por atividades em paralelo ligadas em série). Os postos de trabalho estão estruturados de forma a que seja possível aos trabalhadores e/ou equipamentos associados a cada local de trabalho realizar as atividades simultânea e sequencialmente, ou de forma mista, respetivamente (Battaia & Dolgui, 2013). A ilustração dos três casos possíveis é apresentada na Figura 2.

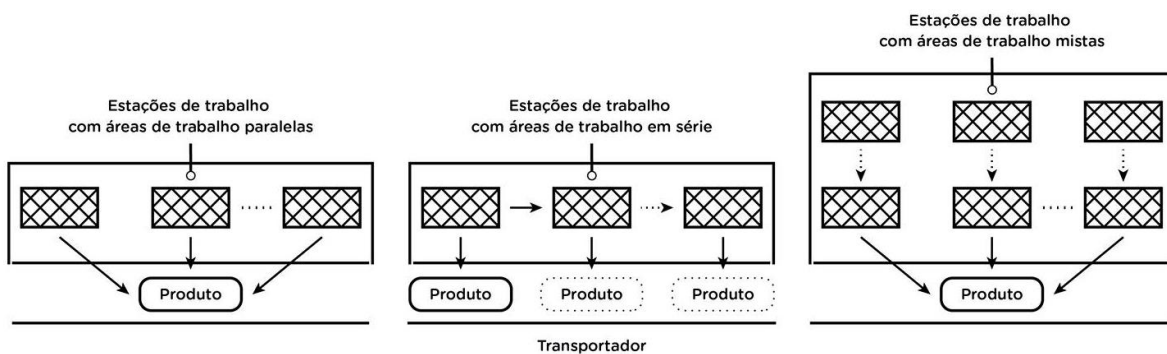


Figura 2 – Linhas reta com múltiplos postos (adaptado Battaia & Dolgui, 2013)

Deixando agora as linhas com um formato reto, temos as linhas em forma de “U”. Estas têm a entrada e a saída no mesmo lugar, como pode ser observado na Figura 3. Normalmente este tipo de linha é manual. Assim, os trabalhadores estão colocados entre os dois lados do “U”, permitindo a movimentação entre eles, como pode ser observado na Figura 3 em que um trabalhador 1 realiza uma atividade no início e duas no final. Esta possibilidade de aceder aos dois lados do “U”, permite que cada trabalhador esteja a trabalhar em duas ou mais áreas de trabalho, ou seja que vários subconjuntos de tarefas associados a diferentes estações de trabalho possam ser realizadas pela mesma pessoa (Bagher, Zandieh & Farsijani, 2011).

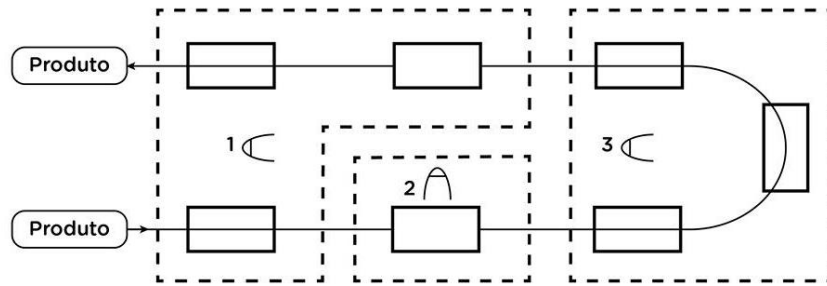


Figura 3 – Exemplo de linha em forma de "U" (adaptado de Battaia & Dolgui, 2013)

Existem ainda as linhas com transferência circular, em que as estações de trabalho estão instaladas à volta de uma mesa circular, que é utilizada para carregar e descarregar a peça de uma estação para a outra, estrutura apresentada na Figura 4. O número de voltas que uma peça permanece sobre a mesa, até estar terminada, vai depender da complexidade do produto. Para o caso em que apenas um dos lados da peça é trabalhado e em que chegue a dar uma volta, pode afirmar-se que é uma configuração igual à linha básica, explicada anteriormente. Se os vários lados da peça são trabalhados em simultâneo, então já temos uma linha com vários locais de trabalho paralelos (Bagher, Zandieh & Farsijani, 2011).

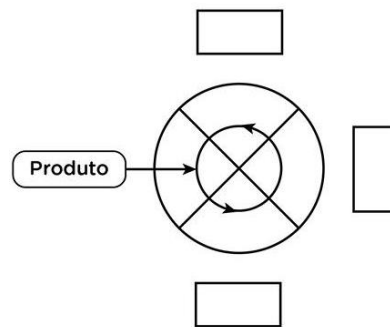


Figura 4 – Exemplo de modelo de linha circular (adaptado de Battaia & Dolgui, 2013)

Por último, temos as linhas assimétricas que foram tidas em conta por Algeddawy & Elmaraghy (2010), no desenvolvimento de um caso de estudo em que o objetivo era transportar a diferenciação para o mais perto possível do final da linha de produção. Tal como foi abordado pelo autor citado anteriormente, este tipo de linhas é utilizado com o objetivo de adiar a diferenciação de produtos, a fim de manter uma configuração de linha comum para todos os produtos manufacturados, durante o maior tempo possível.

Segundo Battaia & Dolgui (2013), o recurso às linhas assimétricas reduz os riscos associados ao aumento da variedade de produtos, mas o problema de balanceamento da linha correspondente e o de otimização do *layout* devem ser resolvidos em conjunto para que seja possível determinar o *layout* final da linha. Segundo Azzi *et al.* (2012) é importante definir o *layout* da final da linha para que seja possível saber qual é a linha de alimentação principal e que linhas de alimentação secundárias estão associadas à primeira. Na Figura 5 pode observar-se um exemplo do caso citado anteriormente.

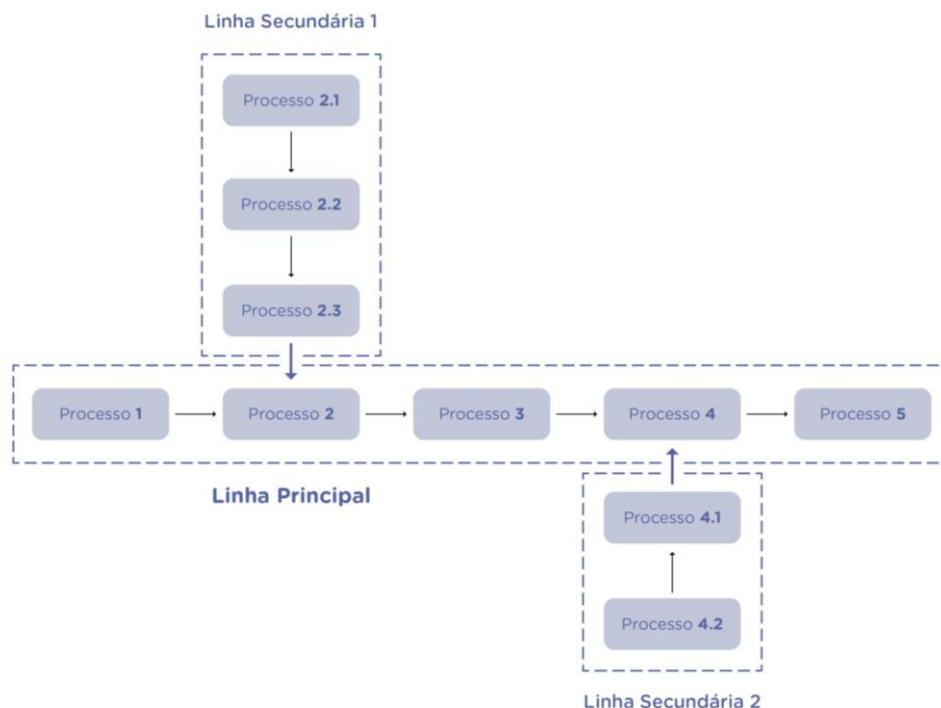


Figura 5 – Associação de linhas primárias com secundárias (adaptado Azzi *et al.*, 2012)

Podemos ter combinações criadas pelos *layouts* acima descritos através do aparecimento de linhas paralelas. O recurso a estas linhas pode oferecer uma série de vantagens ou desvantagens que passamos a enumerar. (Lusa, 2008)

Vantagens:

- Possibilidade de acrescentar linhas consoante a necessidade.
- Possibilidade de adaptar a produção consoante a procura.
- Falha numa linha não afeta as outras.
- Redução dos custos de produção.
- Enriquecimento do trabalho e melhoria da motivação.

Desvantagens:

- Incremento do investimento em comparação a uma única linha;
- Diversas consequências da produtividade;
- Limite do efeito de aprendizagem;
- Maior tempo de ciclo de linha.

A escolha entre uma linha de produção única ou um conjunto de linhas paralelas não pode ser tratada como um caso de certo ou errado. Esta escolha deve fazer parte de um processo de tomada de decisão (Battaia & Dolgui, 2013). O inquérito apresentado em Lusa (2008) identifica as diferentes configurações que as linhas de produção podem assumir: linhas independentes podem, ou não, assumir configurações idênticas; linhas com várias estações de trabalho ou trabalhadores, podem executar funções para mais do que uma estação; a instalação de linhas com múltiplas estações de trabalho pode resultar numa diminuição do número de estações

necessárias. No entanto, qualquer avaria ou problema numa das estações pode afetar a produção de uma ou mais linhas. Por fim, identificou-se que linhas de produção paralelas com estações de trabalho cruzadas podem permitir o transporte de peças de uma linha para outra em caso de falha.

3.2. Simulação

Em indústrias com processos complexos existe a necessidade de se avaliar a implementação de métodos que permitam a eliminação dos problemas mais comuns nas linhas de produção: *Bottleneck* e tempos de espera (Zahraee *et al.*, 2014). Estes problemas levam a que as empresas tenham incrementos de custos (Zahraee, 2016). Outro fator importante é o facto de as empresas sentirem a necessidade de se manterem competitivas, levando a que seja obrigatório o aumento da produtividade, da eficiência e da qualidade na produção, como, por exemplo, o alto rendimento e a elevada taxa de utilização dos recursos (Jahangirian *et al.*, 2010).

Para lidar com os problemas e variações nos sistemas de produção integrados, anteriormente apresentados, Tsai (2002), defende a utilização da simulação em computador, uma vez que pode ser muito útil para analisar, projetar e agendar os sistemas de produção e possibilita o recurso a simuladores em vez da utilização de modelos matemáticos complexos. Para Smith (2005) o recurso a este tipo de simulação pode ser aplicado a uma pequena área da fábrica ou à totalidade.

A possibilidade de utilizar os dois tipos de avaliação permite assim aos engenheiros testarem as novas ideias de expansão e/ou novas instalações inteiras. Para além dos testes com novas experiências, e com o objetivo de reduzir os *bottlenecks* e o tempo de espera, é ainda possível utilizar este recurso para formação dos colaboradores, assim como também para caracterizar o comportamento físico dos processos. Em todos os casos, será testado com recurso a uma série de experiências que permitem antever o que irá acontecer no mundo real, isto é, como se irá comportar o projeto idealizado pelos engenheiros, quando aplicado (Smith, 2005).

Segundo Evans *et al.* (1991), a simulação a computador consiste apenas numa função que transforma as entradas em saídas, como pode ser observado na Figura 6. Os parâmetros operacionais e as suas variáveis são descritas como as entradas do sistema e os desempenhos como as saídas, ou seja, assiste-se a uma descrição dos resultados da simulação e da saída. No que toca a todas as operações concebidas e que são desejáveis para controlar a forma, estas podem ser vistas como as características do sistema e serem modeladas durante o processo de simulação. Com as características do modelo de simulação referidas anteriormente, conclui-se que o “sistema de fabricação real” é construído e iniciado para o estado atual exato do processo de produção e as condições operacionais são testadas no modelo com o intuito de atingir os objetivos pretendidos (Tsai, 2002).

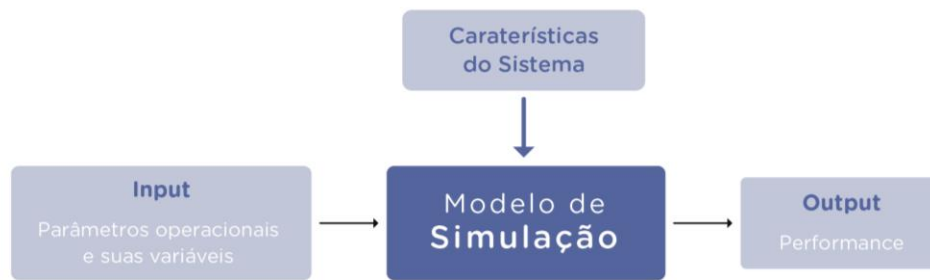


Figura 6 – As atividades na simulação (adaptado de Tsai, 2002)

3.2.1. Classificação dos modelos de Simulação

Segundo Miyagi (2006), em engenharia, um modelo é uma representação de um sistema com o objetivo de o estudar, podendo ser agrupado nos seguintes tipos: matemáticos ou físicos; estáticos ou dinâmicos; determinísticos ou estocásticos; discretos ou contínuos (Banks *et al.*, 2005).

No que toca à comparação entre simulação de modelos estáticos e dinâmicos, a grande diferença é que, nos primeiros, a simulação ocorre num ponto particular do tempo, enquanto nos segundos o sistema vai mudando ao longo do tempo (Banks *et al.*, 2005).

Os modelos de simulação determinísticos não contêm variáveis aleatórias, isto é, conhecem-se os inputs de que resultarão num único *output*, enquanto que nos modelos estocásticos existe pelo menos uma variável aleatória nos *inputs*, resultando em outputs aleatórios que devem ser estimados a partir das características reais do modelo (Banks *et al.*, 2005).

Um sistema discreto é aquele em que as variáveis de estado mudam apenas num conjunto discreto de pontos no tempo, enquanto que um sistema contínuo é aquele em que a variável (s) de estado muda continuamente ao longo do tempo (Banks *et al.*, 2005). Apesar de existir a possibilidade de distinguir os sistemas em contínuos e discretos, são poucos os sistemas que são totalmente contínuos ou discretos, optando-se por classificá-lo através das outras características mais predominantes (Law & Kelton, 2000).

3.2.2. Simulação de eventos discretos versus Simulação de sistemas dinâmicos

Na área da investigação operacional é muito comum utilizar a simulação como ferramenta de modelação em computador, com o objetivo de entender e experimentar um sistema real (Pidd, 1998). Segundo Robinson (2005) os tipos de simulação mais utilizados são a simulação de eventos discretos (SED) e a simulação de sistemas dinâmicos (SD), e é de notar que ambas as simulações têm evoluído em paralelo com a evolução dos computadores.

A SED é uma ferramenta operacional, projetada para otimizar o desempenho do sistema a um nível detalhado, sendo utilizada para modelar sistemas de filas de espera em que a

variabilidade estocástica é importante. O SD é uma ferramenta mais estratégica, usada a um nível mais geral, com o objetivo de compreender melhor o comportamento geral do sistema, podendo até considerar-se que é essencialmente uma abordagem determinista (Brailsford *et al.*, 2010).

Através da revisão da literatura realizada por Tako & Robinson (2010) foi possível avaliar as principais diferenças existentes entre a SED e a SD. Para além do trabalho desenvolvido por estes autores, Brailsford *et al.* (2010), apresenta também um resumo acerca das diferenças entre as duas técnicas. Na tabela 6 é apresentado um resumo desenvolvido tendo por base as conclusões tiradas pelos autores anteriormente referidos.

No sistema em que se pretende simular uma linha de produção para o produto Stork®, existe um baixo número de entidades em que os dados que se pretendem obter são dados quantitativos (tempos de espera, utilização de recursos, quantidade produzida). Porém, devido à existência de tempos contados manualmente é necessário recorrer a distribuições de probabilidades. O objetivo da simulação é otimizar a linha de produção desenvolvida e apresentar diversas opções. Tendo em conta as necessidades do projeto e as comparações realizadas na Tabela 6, conclui-se que a melhor solução é a utilização do SED.

Tabela 6 – Comparação entre o SED e o SD

Aspetos a comparar	SED	SD
Natureza dos problemas modelados	Táticos/ Operacionais	Estratégicos
Duração da Simulação	Lenta - necessidade de múltiplas repetições	Execuções extremamente rápidas
Flexibilidade	Permite todas as distribuições probabilísticas	Inflexível
Representação do Sistema	Visão Analítica	Visão Holística
Complexidade	Grande complexidade e pormenor e um foco restrito	Sistemas gerais e abstratos e um foco mais amplo
Número de Entidades	Pequeno	Grande
Saída de dados	Quantitativos	Qualitativos
Variabilidade	Alta	Baixa
Objetivo	Otimização e comparação	Formulação de políticas

3.2.3. Sistema e componentes do sistema

Segundo Miyagi (2006), para que seja possível modelar um sistema é indispensável compreender os seus conceitos e a fronteira de sistema. Para Nova (2008), o sistema é o conjunto de entidades que interagem entre si e funcionam como um todo, com vista à obtenção de um objetivo, enquanto que a fronteira de sistema é uma característica importante a definir, visto ser constituída por fatores externos que, ao ocorrerem, afetam o sistema. Cada sistema é constituído por uma série de componentes essenciais aquando da sua modelação, que se passa a enumerar (Banks *et al.*, 2005):

- Entidade: objeto de interesse no sistema, que permite classificar as entidades, no que toca à sua permanência, em dois tipos: uma que está durante toda a simulação, ou seja permanente, e outra em que isso não acontece, sendo temporária. Podemos ter ainda a classificação associada ao tipo de processamento, onde, as que efetuam são as ativas, e as que sofrem esse processamento são passivas;
- Atributo: é uma propriedade que caracteriza a entidade.
- Atividade: é a mudança de estado de uma entidade, como resultado de procedimentos especiais, e representa um período de tempo com um comprimento específico.
- Evento: é uma ocorrência instantânea que pode alterar o estado do sistema.
- Estado: é o conjunto de variáveis necessárias para descrever o sistema a qualquer momento, em relação aos objetivos do estudo.

3.2.4. Etapas para o desenvolvimento da simulação

Neste tópico serão explicadas as diferentes etapas que constituem o desenvolvimento de uma simulação.

Segundo Pidd (1998), para o desenvolvimento de uma simulação é necessário recorrer a um computador, o que o leva a afirmar que os passos de desenvolvimento de uma simulação são idênticos aos associados à resolução de outros problemas.

De seguida é apresentada na Figura 13, um fluxograma, desenvolvido por Banks et al. (2005), que contém o conjunto de etapas necessárias aquando da orientação na construção de modelos de simulação. É ainda apresentada uma breve explicação de cada uma dessas etapas. Ao observar o fluxograma é possível compreender que o estudo de uma simulação é composto por iterações que dependem ou não da verificação de determinadas condições e em que poderá ser necessário repetir passos.

- 1- **Formulação do Problema.** Todos os estudos devem começar pela definição do problema. Caso este seja escrito pela pessoa que o tem, o analista tem de garantir que ele foi efetivamente entendido. Caso seja o analista a desenvolver o problema, a pessoa que o apresenta deve analisá-lo antes de avançar. Por vezes o problema acaba por ter de ser reformulado à medida que o estudo é efetuado.
- 2- **Definição de Objetivos e plano geral do projeto:** Os objetivos são as questões a que se pretende responder com a simulação. Nesta fase é importante analisar e confirmar se a simulação é realmente a melhor técnica para responder às questões colocadas, e como se planeia atingir os objetivos pretendidos. Se a simulação for a melhor técnica, deve ser incluído no plano geral uma especificação das alternativas que devem ser tidas em conta e de um critério para comparar os resultados.
- 3- **Conceptualização do modelo:** No desenvolvimento de um modelo de simulação é importante que o construtor do modelo se abstraia das características essenciais do problema, para selecionar e modificar as suposições que caracterizam o sistema e para destacar os resultados de interesse. O modelo deve ser construído tendo por base um

modelo simples e, só depois, chegar aos modelos mais complexos. A complexidade do modelo deve ser ajustada aos objetivos pretendidos, porque uma complexidade em excesso leva ao aumento dos custos. O modelo não precisa de ser uma cópia do sistema real, apenas necessita de representá-lo. É também importante que o usuário participe na construção do modelo, visto que, esta ligação aumentará a sua qualidade bem como a confiança que o usuário terá nos resultados.

- 4- Recolha de dados: Esta etapa está diretamente relacionada com a fase anterior, já que a complexidade do modelo vai afetar a quantidade de dados necessários. Esta etapa demora bastante tempo, pelo que é importante realizá-la quanto antes. Os objetivos do estudo definem o tipo de dados a serem coletados.
- 5- Tradução do modelo: A maioria dos sistemas do mundo real resultam em modelos que exigem uma grande quantidade de armazenamento de informações e computação. Devido à complexidade existe a necessidade de recorrer a programas de computador e, para tal, o modelador deverá escolher o modelo que melhor se adapta. No entanto, se o problema é passível de solução com o *software* de simulação, o tempo de desenvolvimento do modelo será mais reduzido.
- 6- Verificação: A verificação consiste na avaliação do modelo de simulação quando aplicado no programa. Deve verificar-se se o programa executa o modelo conforme o esperado. Caso os parâmetros e a estrutura lógica estejam corretos no cálculo, dá-se por terminada a verificação.
- 7- Validação: Consiste apenas na confirmação de que o modelo está de acordo com o sistema real. Esta etapa é a calibração do modelo recorrendo a iterações de comparação entre os dados colhidos e o comportamento do sistema real. Este processo é repetido até que o modelo seja considerado aceitável.
- 8- *Design* Experimental: Os cenários que serão simulados devem ser detalhados, pelo que a decisão a ser tomada deve sê-lo em função dos cenários que já foram concluídos e analisados. Aquando da realização da simulação de um cenário é necessário tomar uma série de decisões: o comprimento do período de inicialização, a duração da simulação e o número de repetições.
- 9- Realização de testes e análises: É importante a realização de testes e análise dos mesmos com o objetivo de estimar as medidas de desempenho do sistema que está a ser simulado.
- 10- Mais testes : Após a análise dos resultados avalia-se se é necessário ou não realizar mais testes.
- 11- Documentação e relatórios: Existe a documentação do programa, que é imprescindível aquando de uma nova utilização, permitindo ainda transmitir confiança ao usuário que pode optar por tomar decisões tendo em conta os dados gerados. Para além da descrita anteriormente, também podemos receber os resultados através de um relatório de experiências. Este relatório fornece-nos a histórico das simulações realizadas neste

projeto. É importante que o relatório final seja claro e conciso, para que o usuário consiga interpretar os resultados e a solução recomendada.

12- Implementação: Esta etapa vai depender de como foi conduzida toda a simulação. Caso o usuário tenha acompanhado todas as etapas da simulação e compreendido a natureza do modelo e as suas saídas, este poderá contribuir efetivamente para a etapa da implementação.

Após enunciar os passos que constituem a formulação de um modelo de simulação, este será desenvolvido nos subtópicos que se seguem a modelo associado ao estudo de caso acima referido.

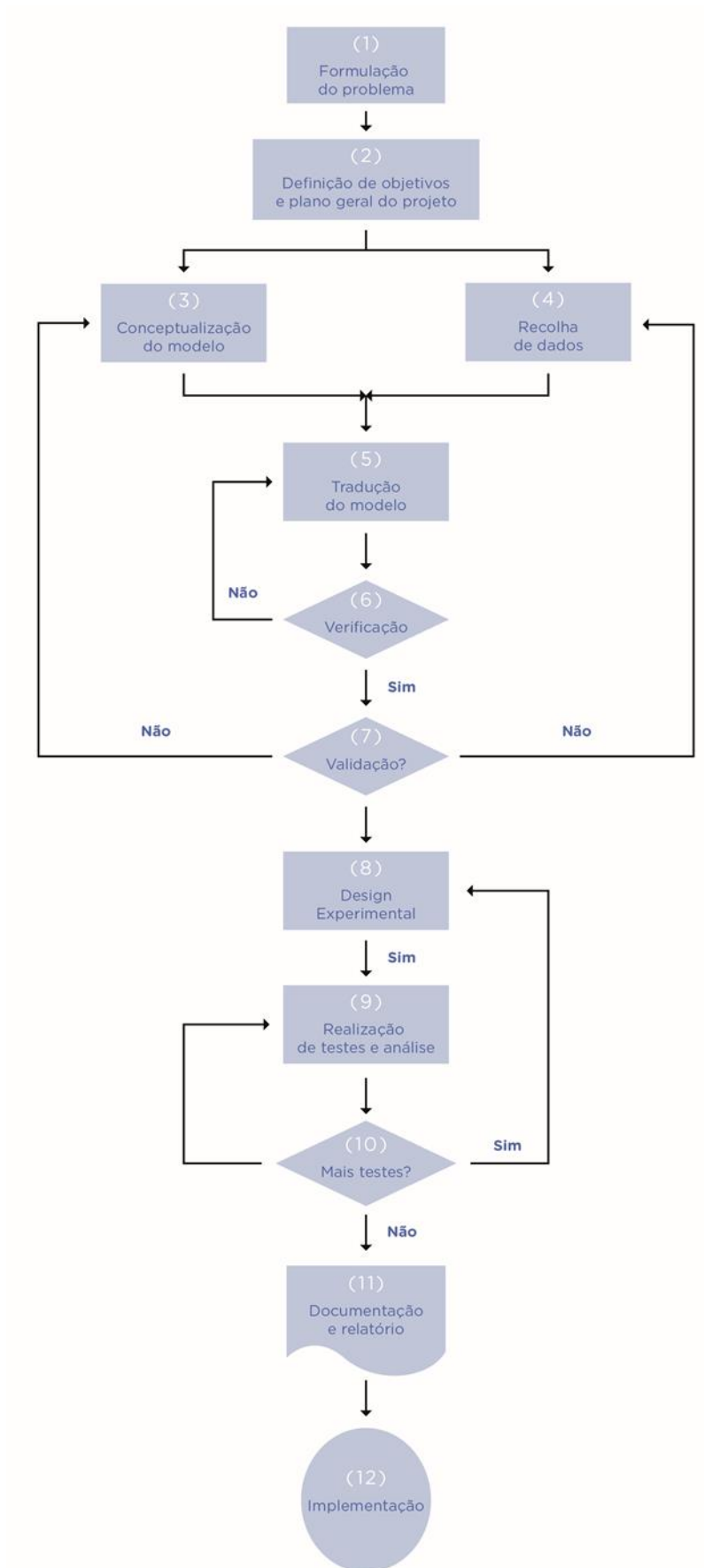


Figura 7 – Passos para o estudo da simulação (adaptado de Banks *et al.*, 2005)

3.2.5. Simul8

Para a execução das simulações irá se recorrer ao programa de simulação Simul8. O Simul8 é um programa de computador para a resolução do SED. Este recurso de simulação foi criado por Mark Elder, professor na Universidade de Strathclyde. Inicialmente este *software* era apenas usado nas disciplinas de simulação dadas pelo professor anteriormente referido, contudo devido ao sucesso deste programa a nível universitário, começou a ser comercializado rapidamente como ferramenta profissional nos projetos de simulação (Chwif and Medina, 2006; Shalliker and Ricketts, 2014a; Simul8 Corporation, 2017).

A sua interface gráfica permite ao usuário criar um modelo visual do sistema que está a ser investigado, através do desenho de objetos de simulação diretamente no computador (Shalliker & Ricketts, 2014b).

O programa Simul8 permite criar um modelo visual do sistema de estudo pretendido com o recurso a desenhos de objetos diretamente no ecrã. Para além da representação, é ainda possível definir as características dos objetos, como por exemplo, a velocidade de ação (Shalliker & Ricketts, 2002).

Após o desenvolvimento do modelo é possível executar a simulação. A simulação é mostrada no ecrã através das animações, em que se torna viável observar a passagem dos itens de uma atividade para outra, sendo possível, nesta etapa, avaliar o modelo criado. Após a aprovação do modelo, este pode então ser executado. Para a sua execução são realizados uma série de ensaios de forma a avaliar, estatisticamente, a performance do sistema (Shalliker & Ricketts, 2002).

3.3. Conclusão

Assim o primeiro tema que se procurou desenvolver foi referente ao processo produtivo. O objetivo seria estudar processos produtivos idênticos ou que, de alguma forma, se assemelhassem ao desenvolvido para o produto Stork®.

A inexistência de informação válida, impediu uma progressão clara neste sentido, tendo-se optado por analisar as diferentes soluções ao nível de linhas de produção. Concluiu-se então a existência de produção em *layouts* únicos ou *layouts* paralelos. Este último consiste na produção através de *layouts* múltiplos.

O segundo tópico desenvolvido durante este capítulo foi a simulação. Este conceito consiste numa função capaz de transformar as entradas (parâmetros operacionais e variáveis) em saídas (desempenhos). Associado à simulação está inerente a necessidade de conhecer os conceitos de sistema e fronteira do mesmo. Existe ainda uma série de componentes essenciais (entidade, atributo, atividade, evento e estado) que constituem o sistema.

Podemos classificar os modelos de simulação em: matemáticos ou físicos; estáticos ou dinâmicos; determinísticos ou estocásticos; discretos ou contínuos.

Apesar das diversas classificações apresentadas, os dois tipos de simulação mais comuns são o SED e o SD. Após a comparação realizada durante um dos subtópicos deste capítulo,

concluiu-se que o modelo a que se deveria recorrer era o SED, pois é o que tem as características mais aproximadas ao estudo de caso em desenvolvimento.

Tendo a revisão bibliográfica concluído segue-se a apresentação do estudo de caso que é a base desta dissertação.

4. Descrição do problema

No decurso deste capítulo, pretende-se apresentar os benefícios que a empresa FW poderá usufruir com o desenvolvimento do tema proposto. Durante a explicação será apresentada a empresa, o produto Stork® e, por último, o desenvolvimento da cadeia de valor desde o mais geral até ao mais específico, avaliando assim a subcadeia associada ao estudo de caso a desenvolver neste trabalho.

4.1. Empresa FrontWave

A FW foi criada em 2001 como uma *spin-off* do Instituto Superior Técnico (IST). Como é referido no *website* do IST (2016), “a FW é uma empresa pioneira no projeto, desenvolvimento e implementação de produtos e tecnologias de produção ligadas ao setor da pedra natural e materiais afins”.

Durante os últimos anos, esta empresa desenvolveu uma série de soluções inovadoras para o mercado global, geradas a partir da caracterização, otimização e aplicação de materiais e sistemas multifuncionais. As soluções desenvolvidas pela empresa têm como foco principal a área da Engenharia e Tecnologia Mecânica, de Materiais e a Engenharia Civil (Frontwave, 2016).

Pode dizer-se que os principais objetivos da FW são: a constante procura pela liderança nas soluções tecnológicas para a indústria da pedra natural, o desenvolvimento de projetos que destaquem o valor da pedra e a implementação de sistemas de gestão que adicionem valor às empresas (Frontwave, 2016).

Com o intuito de conseguir atingir os três objetivos a que se propõe, a FW está dividida em três departamentos. Cada um deles está ligado a uma área de atividade distinta: Tecnologia, Engenharia e Consultoria.

O Departamento Tecnológico, responsável pela criação e desenvolvimento de soluções tecnológicas e instrumentos de gestão para a indústria da pedra natural, procura ajudar as empresas a conseguirem um crescimento eficiente e sustentado. Em paralelo, este departamento procura contribuir para o aumento do conhecimento técnico existente nas empresas, estando sempre disponível para utilizar os seus serviços e produtos em atividades com o intuito de incentivar a Implementação da Investigação, para que exista um desenvolvimento tecnológico (Frontwave, 2016).

No Departamento de Engenharia são desenvolvidas e testadas uma série de opções para a criação de produtos alternativos recorrendo à pedra e a componentes que podem trazer uma melhoria das suas características base. A procura de novas soluções para a utilização da pedra tem como principal objetivo a criação de produtos substitutos, que tragam melhorias significativas: térmicas, mecânicas, acústicas e eficiência económica. Este departamento não só se dedica ao estudo laboratorial, como também à criação de produtos que possam ser produzidos em grande escala com o intuito de serem comercializados (Frontwave, 2016).

Por último, o Departamento de Consultoria, tem como principal objetivo o apoio às organizações, a nível de consultoria em sistemas de gestão como em projetos financiados. Para

que os clientes consigam atingir os objetivos operacionais e estratégicos que desejam, este departamento aposta em soluções inovadoras (Frontwave, 2016).

A presente dissertação terá como destinatário o Departamento de Engenharia, com o intuito do desenvolvimento de um projeto proposto pelo mesmo.

4.2. Estudo de caso

Neste trabalho pretende-se desenvolver e otimizar uma linha de produção para Stork®. Para tal, é necessário adquirir um conhecimento específico dos materiais utilizados. É também importante compreender todo o processo produtivo. Após a investigação dos tópicos anteriores é necessário desenvolver uma pesquisa na área da pedra: perceber o tipo de máquinas utilizadas e quais se podem adotar para este projeto. A pesquisa desenvolvida vai ser essencial para a recolha dos dados essenciais a utilizar no modelo de simulação.

4.2.1. História do Produto Stork®

O Departamento de Engenharia da FW tem como missão desenvolver soluções inovadoras no campo da pedra. A partir desta missão, foi possível encontrar as necessidades no mercado que permitiram a criação do produto e marca o Stork®.

Em 2014, data em que foram realizados os primeiros testes, o produto sofreu melhorias significativas. No entanto, desde o início do seu desenvolvimento a empresa foi-se apercebendo que o produto tinha uma grande recetividade e, como tal, estaria apto a ser comercializado, implicando assim a necessária industrialização.

Numa fase inicial avaliou-se a hipótese de produzir e comercializar o produto em grande escala. Contando com a colaboração conjunta entre a equipa de desenvolvimento da FW e trabalhos de mestrado produzidos por alguns alunos do IST, foram idealizadas as condições técnicas necessárias para a produção.

Os estudos realizados diziam respeito sobretudo à análise das características finais do produto com o objetivo analisar a influência da modificação de algumas variáveis de produção nas características mecânicas do produto. Uma vez que o produto Stork® ainda não está a ser produzido em grande escala, nem comercializado, a empresa optou pelo desenvolvimento de peças e placas protótipo, para que estas pudessem ser mostradas em feiras da especialidade. Estas feiras são fundamentais para se obter feedback de potenciais clientes e adequar algumas das especificações iniciais, dando início ao ciclo de desenvolvimento habitual.

4.2.2. Descrição do produto

O produto Stork® insere-se na categoria de estruturas compósitas tipo *sandwich*, dado que, este produto é constituído por 4 camadas distintas, sobrepostas entre si. Para além do componente principal, o produto Stork® pode ainda ser fabricado de maneira a incorporar um sistema para fixação a suportes de aplicação em revestimentos tipo fachada ventilada, tal como pode ser demonstrado na Figura 8 e explicado posteriormente.

Os materiais constituintes do produto são:

- Pedra: Pode ser utilizada qualquer tipo de pedra desde que, o dimensionamento final permita que a mesma cumpra os requisitos mecânicos exigidos para a aplicação.
- Aglomerado de Cortiça: Consoante o objetivo do produto é escolhida a espessura adequada deste material.
- Fibra: São utilizados dois tipos de fibra para constituir as várias camadas de material.
- Resina: A resina é composta pela mistura de dois componentes fornecidos separadamente que permitem assim a formação de um composto adesivo com resistência mecânica adequada. É importante referir que as quantidades vão depender das características físicas dos restantes componentes (pedra e cortiça).

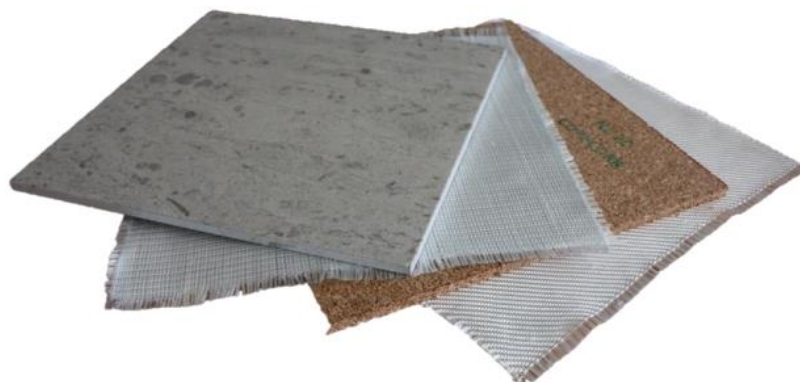


Figura 8 – Camadas constituintes do produto Stork® (Ribeiro, 2016)

O produto é estruturado em camadas na forma que pode ser observada na Figura 8. Na parte superior, localiza-se a pedra com recurso a uma camada de fibra e resina ligada a uma camada de cortiça, e, por último, uma nova camada de fibra e resina.

O Stork® pode ser utilizado na construção civil para o revestimento de fachadas, exteriores e interiores, em revestimentos puramente ornamentais no interior das casas (por exemplo bancadas da cozinha, mesas, etc.). A empresa FW considera ainda que o produto pode vir a ser utilizado noutros mercados, tais como em interiores de aviões e barcos, por ser um material leve e, simultaneamente, bastante resistente (5 mm de pedra passam a ter uma resistência à flexão equivalente a uma 30 mm da mesma pedra)

4.2.3. Cadeia de valor do produto

Para uma melhor compreensão da interação que se estabelece entre o produto Stork® com as áreas existentes dentro da empresa, bem como, com as áreas e agentes externos que também ali exercem influência, é relevante constatar como é constituída a sua cadeia de valor (Figura 9).

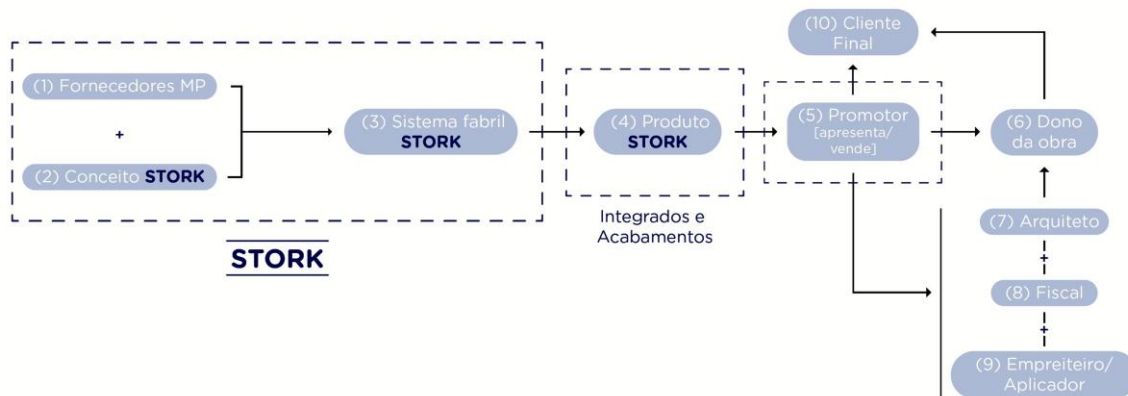


Figura 9 – Cadeia de Valor Global do Stork® fornecida pela empresa

Na Figura 9 são perceptíveis as várias fases do produto Stork®, desde o início do seu fabrico até à sua aplicação, sendo assim possível definir a Cadeia de Valor. Com a MP adquirida aos fornecedores e o conceito Stork® implementado no sistema fabril é possível fabricar-se o produto final. Depois de fabricado, e com a ajuda do promotor, este é apresentado e vendido através de arquitetos e projetistas aos donos das obras ou até mesmo ao cliente final, tornando-se assim possível a sua aplicação nos trabalhos solicitados pelo cliente.

Com o desenvolvimento da cadeia de valor foi necessário definir os objetivos e funções de cada um dos departamentos existentes na mesma. No Anexo A, Tabela 17, encontra-se explicitada uma breve explicação das funções do serviço associadas a cada um dos elementos da cadeia de valor e dos objetivos para a utilização do produto.

Após a análise da cadeia de valor, é necessário especificar o tópico referente ao sistema fabril, já que este passará a ser um departamento muito importante em toda a cadeia de valor. Em relação a este ponto é crucial referir que, sem produção do Stork® em escala e economicamente viável, todas as restantes áreas da cadeia de valor deixariam de fazer sentido.

Sendo um tópico que estava subdesenvolvido, foi essencial organizar um novo diagrama, desta subcadeia, aqui denominada como Sistema Fabril. Para isso recorreu-se a uma série de palavras chave que caracterizam as diversas atividades existentes no Sistema Fabril. O diagrama desenvolvido permite, assim, compreender as diferentes atividades que são necessárias realizar para a criação de uma fábrica com o objetivo de fazer chegar o produto Stork® ao mercado (Figura 10).

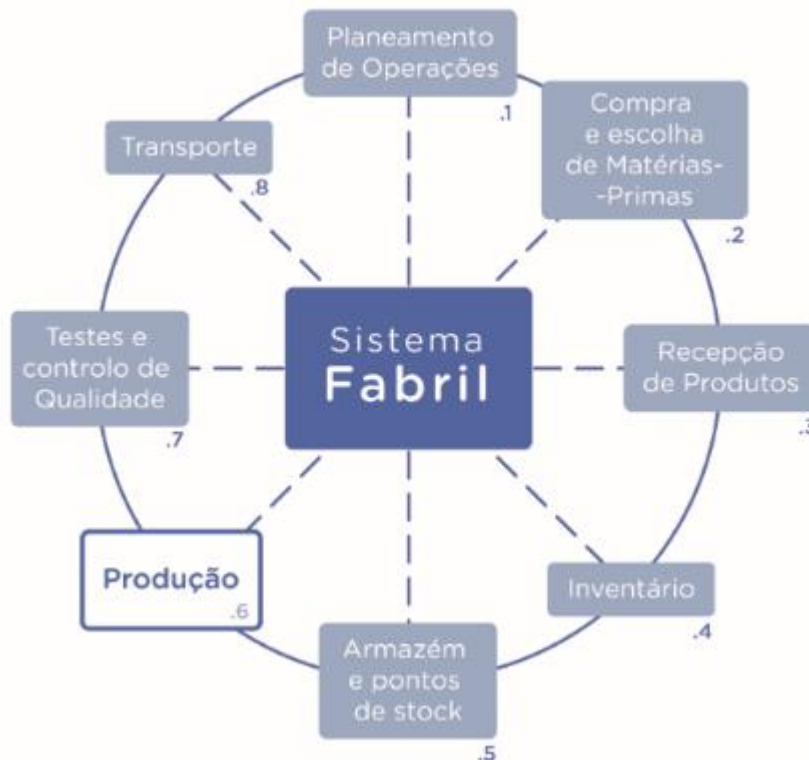


Figura 10 – Sistema Fabril adaptada à cadeia de valor fornecida pela empresa

Através deste diagrama, foram descritos, de forma sucinta, as características principais das palavras chave associadas à subcadeia:

- Planejamento das operações: Desenvolvimento do plano geral de ação e dos requisitos necessários à criação do Sistema Fabril.
- Compra e escolha de MP: Procura e seleção dos fornecedores para as MP (aglomerado de cortiça, resina e fibra), contactos com as empresas de fornecimento de pedra para acordos de partilha de *stocks* e fornecimento, porque a pedra terá de ser recebida e produzida, não podendo haver inventário. Tendo em conta as quantidades necessárias para a produção, será necessário elaborar as ordens de encomenda.
- Receção dos produtos: Necessidade de estudar o tipo de encomendas a executar para cada um dos produtos, tendo em conta os *stocks* de segurança, o tempo de entrega, os custos de inventário e a durabilidade das MP.
- Testes e controlo da qualidade: Necessidade de realizar testes às pedras e restantes MP que irão ser utilizadas na produção e controlo de qualidade após produção. Para a empresa será importante que os testes de MP sejam realizados pelo fornecedor.
- Armazenagem e pontos de *stock*: Localização das zonas de armazenagem das diversas MP e os pontos de *stock* que irão existir ao longo da linha.
- Produção: Processo produtivo já desenvolvido, porém é necessário ter em conta as condições de trabalho exigidas para que a produção seja realizada de forma correta.

Independentemente do processo produtivo e sendo ainda necessário garantir que existe equipamento adequado para produzir de acordo com as condições exigidas pela empresa, tanto a nível de quantidade, como de qualidade. Caso não seja possível satisfazer essas necessidades, poderá ser ainda necessário ter mais do que uma linha.

- Transporte: Transporte do produto final da Fábrica Stork® para a indústria de transformação pedra com o intuito de finalizar o produto e o seu transporte para os clientes.
- Inventário: Necessidade de registar, em inventário, as quantidades necessárias à produção durante um determinado período, definido pela empresa.

O caso de estudo a desenvolver nesta dissertação de mestrado está inserido na atividade **Produção**. A Produção pode decompor-se em várias etapas chave, que serão descritas de forma mais detalhada no tópico seguinte.

4.2.4. Processo Produtivo

Com os desenvolvimentos conseguidos pela empresa, foi possível definir um processo produtivo para o Stork®. Neste processo, a empresa optou por receber a pedra já cortada com uma espessura *standard*, mas em cuja área de superfície é próxima da área final do produto. O processo produtivo pode ser descrito da seguinte forma:

- A produção começa com a secagem da pedra assim que a mesma chega à fábrica.
- Enquanto a primeira fase ocorre, inicia-se a preparação das restantes MP: corte do aglomerado de cortiça e das camadas de fibra as quais, por razões de otimização técnica, apresentam densidades por área diferentes.
- A fase seguinte consiste na “laminação” da pedra, ou seja, na aplicação da primeira camada de resina na pedra seguida de uma das camadas de fibra.
- Seguidamente, aplica-se a cortiça, utilizando (para o produto base) a mesma tipologia de resina anterior.
- Como última operação de “laminação” é aplicada uma nova camada de resina e fibra para reforço final do produto.
- Na terceira fase procede-se à pré-cura do compósito, isto é, à aplicação de pressão a uma determinada temperatura.
- Segue-se a quarta fase que consiste na pós-cura, na qual o compósito é colocado no forno durante um tempo pré-estabelecido e a uma determinada temperatura.

O processo produtivo, anteriormente explicado, está descrito em três diagramas apresentados de seguida: dois deles associados ao processo produtivo completo (Figura 11 e Figura 12), e outro, com a descrição mais detalhada da laminagem (Figura 13).

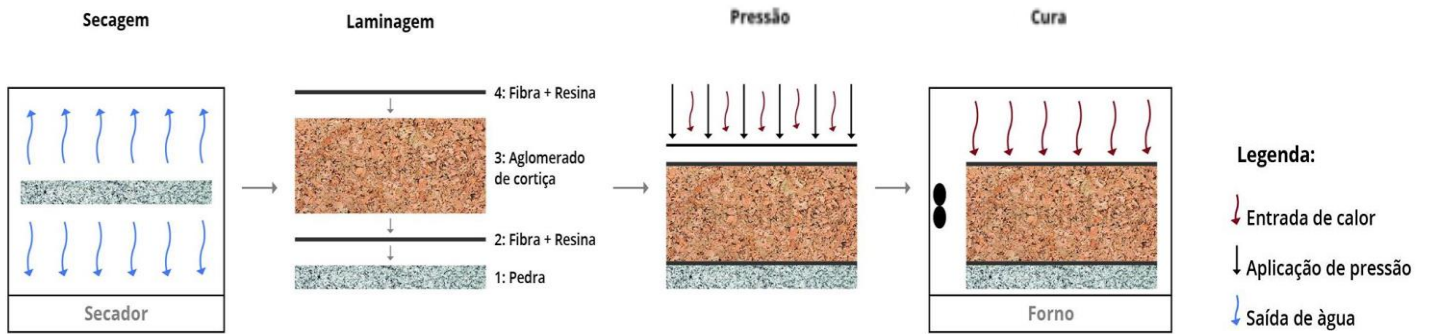


Figura 11 – Diagrama de etapas de produção (adaptado de Gomes, 2016)

Com as quatro primeiras fases concluídas, é possível fabricar o produto Stork®. Quando aplicável (por exemplo aplicações em fachadas ventiladas), será necessário ainda realizar as furações para a aplicação do suporte, seguida da embalagem e ida para o fornecedor de pedra de modo que a mesma seja cortada e rebaixada, ficando assim o produto final pronto para entregar ao cliente.

Para a linha de produção é necessário ter ainda em conta uma série de condições de trabalho importantes para que o processo seja realizado de forma correta. Para o cumprimento destas condições é necessário cumprir níveis de humidade e de temperatura da zona de laminagem, bem como cumprir condições de base associadas à temperatura da estufa e do forno. Essas características encontram-se descritas na Figura 5.

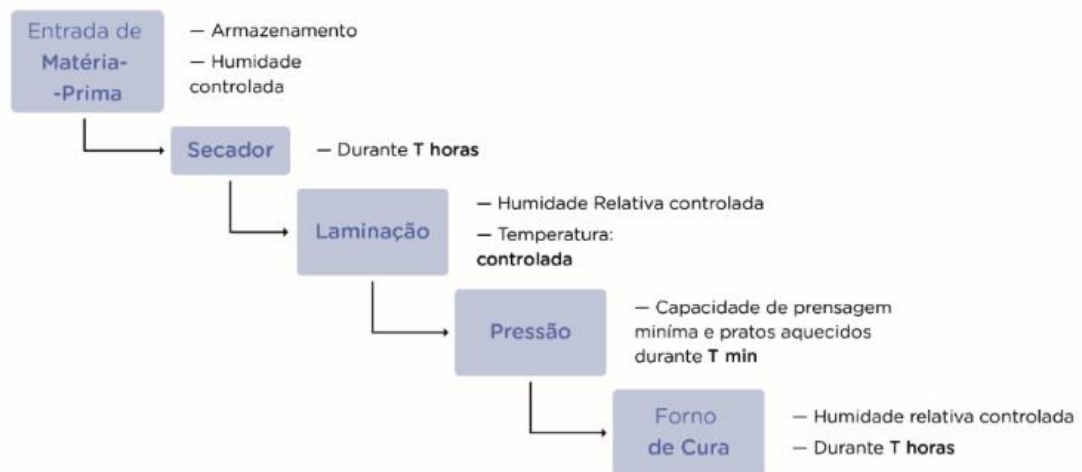


Figura 12 – Especificações de tempo, temperatura e humidade relativa no processo produtivo.

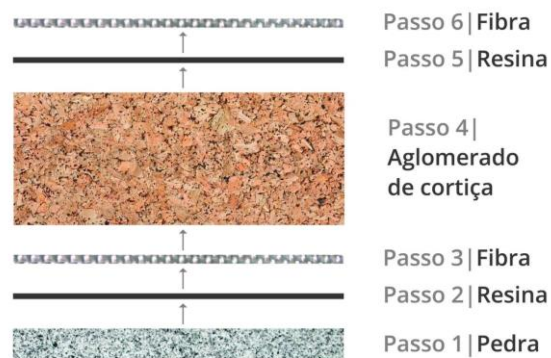


Figura 13 – Processo de laminagem detalhado (adaptado Gomes, 2016)

4.2.5. Descrição dos objetivos da linha de produção

Através do estudo de caso, pretende-se conseguir fundamentar as decisões referentes à linha de produção Stork®.

Tendo em consideração os dois objetivos estipulados pela empresa, pretende-se desenvolver soluções para duas linhas distintas: uma de pequena e outra de média dimensão. Estas linhas têm dois níveis mínimos de produção muito dispare: a de pequena escala está dimensionada para uma capacidade máxima produtiva de 5 000 m²/ano, enquanto a de média escala cerca de 5 vezes mais.

A linha de pequena dimensão será utilizada como um projeto piloto de forma a compreender as variáveis temporais e, assim, criar a linha de média dimensão. Ainda que seja uma linha piloto, esta será já uma forma de fazer chegar o produto aos mercados.

A linha de média dimensão será criada após a linha piloto cumprir os seus objetivos, esperando-se que se torne viável para a realização de projetos de maiores dimensões.

Para o desenvolvimento da linha de média dimensão, a FW, tem uma exigência fulcral: o desenvolvimento de uma linha que consiga atingir os níveis de produção pretendidos num único turno. É ainda importante que esta segunda linha não seja a replicação de várias linhas de pequena dimensão, mas sim que esta seja desenvolvida de raiz de maneira a poder constituir um importante avanço no estado da arte da empresa ao nível industrial. Apesar deste requisito, é possível que sejam utilizados alguns equipamentos da primeira.

Para a análise da eficiência económica e de produção, a empresa definiu uma série de critérios que têm de ser tidos em conta no desenvolvimento da linha:

- Capacidade máxima das máquinas existentes para a produção.
- Investimento inicial.
- Custos de produção fixos e variáveis.
- Custos inerentes à manutenção e avarias que levem à paragem das linhas de produção;
- Área necessária à produção.
- Quantidade de mão de obra necessária, sendo que o recurso à robotização consta dos principais objetivos da empresa.

O desenvolvimento desta dissertação centrar-se-á assim na otimização e simulação da linha de pequena dimensão, pretendendo-se assim responder às questões essenciais ao

desenvolvimento e implementação futura de uma linha de média dimensão. Ou seja, uma vez atingidos os resultados desta primeira linha, será possível projetar a linha de média dimensão. As conclusões tiradas desta análise serão especialmente relevantes ao nível da investigação e desenvolvimento futuro de equipamentos necessários à produção.

4.3. Conclusões do capítulo

O estudo de caso que vai ser desenvolvido durante esta dissertação foi proposto pela empresa FW, empresa que é uma *spin-off* do IST, criada em 2011, sendo pioneira no projeto, desenvolvimento e implementação de produtos e tecnologias de produção ligadas ao setor da pedra natural.

Com o desenvolvimento da cadeia de valor chegou-se à conclusão que seria essencial um desenvolvimento mais detalhado do Sistema Fabril. Com a análise desta subárea da cadeia de valor total, percebeu-se que seria a Produção o principal foco do caso de estudo.

A nível da produção foi caracterizado o processo produtivo e as condições de funcionamento do mesmo, permitindo assim que, numa futura etapa deste projeto, seja possível projetar o modelo de simulação associado às linhas.

Após finalizada a compreensão da produção do produto Stork®, estruturou-se um conjunto de critérios essenciais para a avaliação por parte da empresa, entre os quais salientamos: capacidades máximas, valor inicial de investimento, satisfação das necessidades de produção exigidas pela empresa, entre outras.

Após apresentação do estudo de caso segue-se a implementação do modelo de simulação associado ao mesmo. Será tido como modelo o fluxograma apresentado na revisão bibliográfica.

5. Desenvolvimento do Caso de Estudo

No presente capítulo é desenvolvido o modelo de simulação associado ao estudo de caso. São, sendo desenvolvida a simulação para a linha de pequena dimensão. Para o desenvolvimento dos modelos de simulação são seguidas as etapas propostas por Banks *et al.* (2005).

5.1. Formulação do problema

O modelo de simulação a construir seguidamente está associado ao desenvolvimento da linha de produção de pequena dimensão para o Stork®.

Apesar do processo produtivo consistir na junção de diferentes componentes, este deve ser definido tendo como objeto de entrada a Pedra, visto ser aquela que está no sistema desde que é iniciada a simulação. Definiu-se apenas este como objeto de entrada, visto que é aquele que necessita de uma maior intervenção durante o processo produtivo, enquanto os restantes compostos do Stork® irão sendo inseridos durante as atividades associadas à produção.

O processo produtivo começa com a entrada da Pedra no forno de secagem e com a saída do composto. A linha vai ser dividida em 4 etapas principais distintas, sendo que, em cada uma delas, existem atividades secundárias, como pode ser observado na Figura 12 e Figura 13 anteriormente apresentadas. Optou-se por considerar a laminação como um processo único, visto que tem sempre de ser realizado, sequencialmente, sem interrupções.

Após delineado o processo produtivo, ficou definido que se iriam utilizar pedras com o dobro da espessura e replicar o processo nos dois lados da pedra. Com esta opção foi necessário acrescentar ao processo produtivo uma nova etapa a que se dá o nome de rufiar.

É importante referir que, todas as transferências entre etapas da linha vão ser realizadas por um colaborador com o apoio de uma ponte rolante. Os colaboradores serão ainda necessários durante a atividade de laminagem.

Conclui-se então que a simulação começa, desde a entrada da pedra no sistema como MP, e termina quando o produto é embalado e está pronto a entregar ao cliente final.

5.2. Definição dos objetivos e o plano geral do projeto

Como foi referido anteriormente, o modelo a ser trabalhado no programa Simul8 pretende demonstrar quais as linhas de produção a serem utilizadas para produção dos produtos Stork®. Nesta simulação será ilustrada uma fábrica com as capacidades de produção estipuladas pela empresa.

Para que a implementação da fábrica no mundo real seja possível, é necessário ter em conta algumas conclusões a retirar da simulação.

O primeiro ponto a considerar é o número de linhas utilizadas, ou seja, definir se se utiliza uma única linha ou se existe a necessidade de ter duas ou mais a trabalhar em paralelo. Associado ao apresentado anteriormente, terá também de se definir a quantidade de recursos (máquinas, tapetes de transporte e colaboradores fabris) a utilizar na produção. Por último, existe ainda a necessidade de analisar o número de turnos da fábrica.

A simulação é realizada em diferentes fases, sendo que os dados vão ser alterados de forma a conseguir cumprir os objetivos estipulados pela empresa. Numa primeira fase são definidas uma série de condições iniciais que podem sofrer alterações por não cumprirem os objetivos pretendidos e numa segunda fase será desenvolvido cenários com o objetivo de otimizar a capacidade produtiva da linha.

De seguida apresentar-se-á a conceptualização do modelo para a linha de produção, intitulado de modelo piloto. Após o desenvolvimento total deste modelo e tiradas as respetivas conclusões, já será possível adaptar este o modelo para análises futuras em linhas de maior dimensão.

Em suma serão definidas as condições iniciais para a linha de pequena dimensão e avaliar os possíveis *bottlenecks*, para que seja possível, no futuro, fazer extrapolações para linhas com maior capacidade produtiva.

5.3. Conceptualização do modelo piloto

Na conceptualização do modelo piloto, tal como referido anteriormente, pretende-se identificar as entidades importantes no desenvolvimento do modelo e apresentar os respetivos Diagramas de Ciclo de Vida (DCV) e ainda os Diagramas de Ciclo de Atividade (DCA). A construção destes diagramas é fundamental para a criação do modelo num *software* adequado.

Na conceptualização da linha piloto optou-se por não fazer a simulação para todo o processo, concentrando apenas a preocupação na parte associada ao processo produtivo, isto é, desde que a pedra chega como MP até ao refiar. Os principais motivos desta opção são:

- A produção diária será de um valor muito reduzido.
- Porque através de estudos anteriormente desenvolvidos espera-se que a capacidade máxima seja limitada a um valor fixo de 5 pedras por dia. Apesar desta limitação será posteriormente testada a hipótese de aumentar a produção, através do aumento de recursos.
- E por último, a concentração na fase associada ao processo produtivo principal é bastante importante para concluir as condições iniciais mais importantes para a implementação da mesma.

O processo produtivo existente na linha, que está a ser modelada, pode ser dividida em cinco etapas principais: secagem da pedra, laminação do primeiro lado da pedra, laminação do segundo lado da pedra, pós-cura da pedra e, por último, o refiar da pedra.

5.3.1. Identificação de entidades relevantes

Para a modulação do sistema que se pretende simular, é necessário definir as entidades relevantes. Como referido no Capítulo 3.2.3 deste projeto, as entidades são os objetos de interesse do sistema, isto é, são na realidade os elementos básicos de um modelo que interagem entre si com vista à obtenção de um objetivo.

De acordo com o que foi desenvolvido no Capítulo 3.2.3 podem dividir-se as entidades em dois tipos: as permanentes, que estão sempre presentes no sistema, e as temporárias que vão entrando e saindo do sistema. No modelo em análise foram identificadas as seguintes entidades:

Entidades Permanentes:

- Forno
- Mesa de apoio 1 e 2, MA1 e MA2 respetivamente
- Colaborador
- Prensa
- Mesa de laminação 1 e 2, ML1 e ML2 respetivamente
- Mesa de Refiar

Entidades Temporárias:

- Pedra

5.3.2. Diagramas de Ciclos de Vida das Entidades

Os DCV descrevem os estados por que passam as várias entidades existentes no sistema. Pode-se classificar os estados em dois tipos: o ativo (representado por retângulos) que representa uma atividade que está a ser realizada por entidade, e, o outro, o passivo (representado por círculos) que está associado à fila de espera que é fase em que a entidade se encontra até começar a atividade seguinte. O recurso aos DCV torna mais claro o desenvolvimento do modelo da simulação (Porta Nova, 2008).

De seguida estão apresentados os DCV associados às entidades relevantes ao sistema. Primeiramente encontram-se representados os DCV das entidades permanentes e só depois aparece o da temporária.

Neste processo produtivo o forno executa tanto a fase de secagem da pedra, como também, a pós-cura da mesma. Para tal, o forno irá ter três atividades em cada uma das fases. Caso não esteja a executar nenhuma delas, deverá estar livre, como pode ser observado na Figura 14.

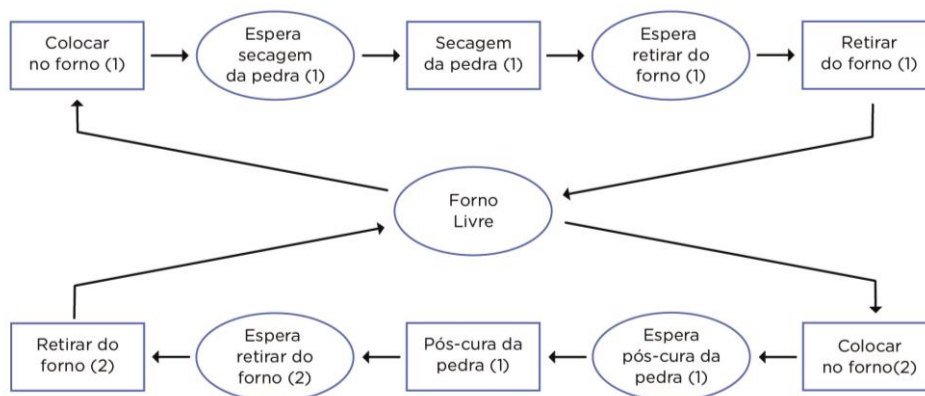


Figura 14 – Diagrama Ciclo de vida do Forno

As mesas de apoio servem para ajudar nas transições entre etapas do processo produtivo. No que toca à MA1, é utilizada em três diferentes partes da produção de uma placa. A primeira consiste no carregamento do forno, no processo de secagem e de todas as atividades associadas ao mesmo. A segunda utilização é na fase de transição entre as etapas de laminação 1 e 2, e, por último, é utilizado no descarregamento do forno após a pós-cura levando as pedras para o ponto de *stock* (PS) de produto. É importante referir que caso não esteja a realizar nenhuma das atividades anteriormente referidas a MA1 está livre. O DCV da MA1 pode ser observado na Figura 15.

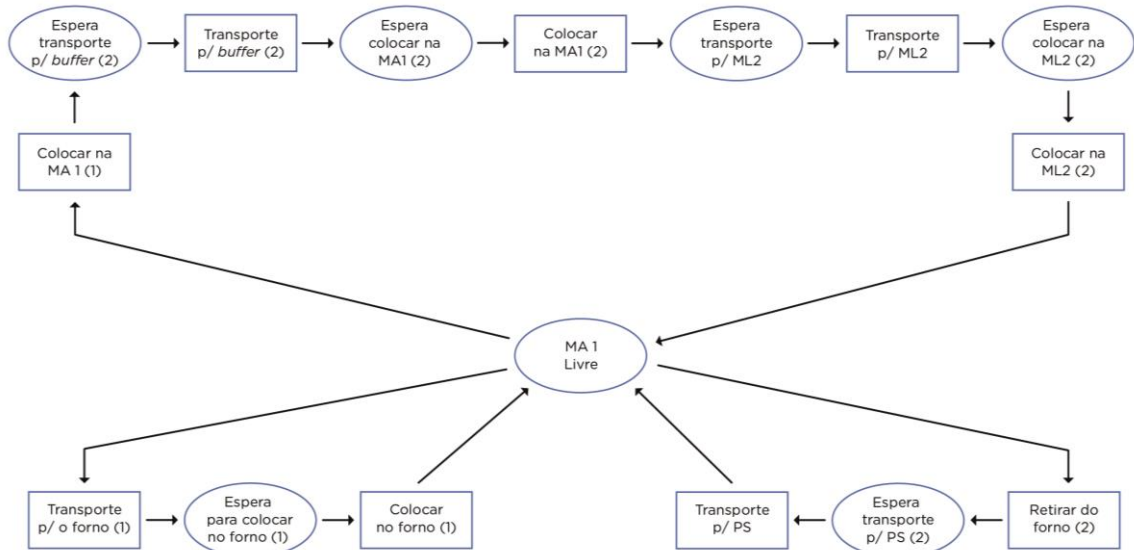


Figura 15 – DCV do MA1

As outras duas transições são asseguradas pela MA2, que, caso não esteja a executar as atividades a seguir referidas, estará livre. A primeira parte em que a mesa está associada é entre o descarregamento do forno após a secagem até à laminagem 1. A outra é entre a laminagem 2 e o carregamento do forno para a pós cura da pedra. O diagrama associado a esta entidade pode ser observado na Figura 16.

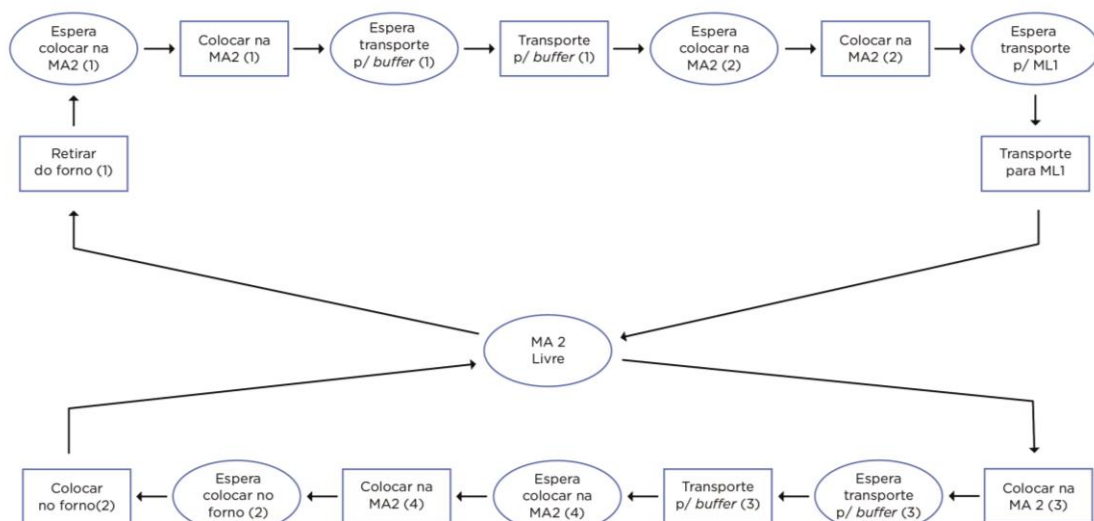


Figura 16 – DCV da MA2

No caso das mesas de laminação, ML1 e ML2, as atividades executadas são iguais. Em relação à ML1, esta executa a laminação 1 e a respectiva carga da prensa e a descarga da prensa na laminação 2. No que se refere à ML2 esta executa os processos inversos, ou seja, a laminação 2 e a carga da prensa para a aplicação de pressão 2 e o descarregamento da prensa dá-se na primeira laminação. Tudo isto pode ser observado nas Figura 17 e Figura 18, a seguir apresentadas.

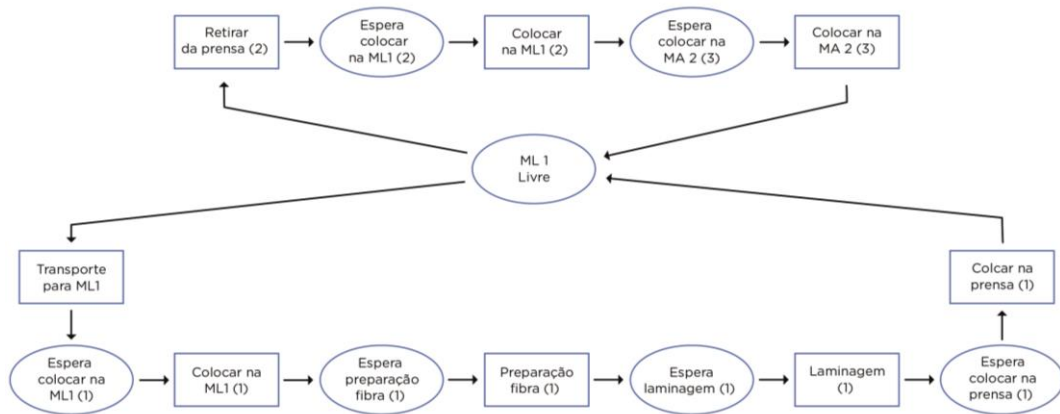


Figura 17 – DCV da ML1

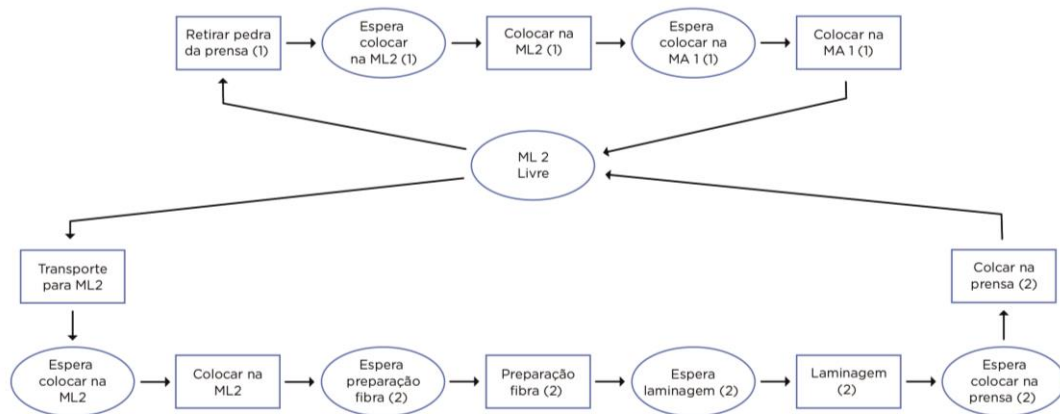


Figura 18 – DCV da ML2

Relativamente à prensa, ela irá estar presente nas duas etapas de laminação existentes no processo produtivo. Em ambos os casos, executa três atividades: colocar e retirar a pedra e aplicar pressão. Estas atividades podem ser observadas no DCV da prensa, apresentado na Figura 19.

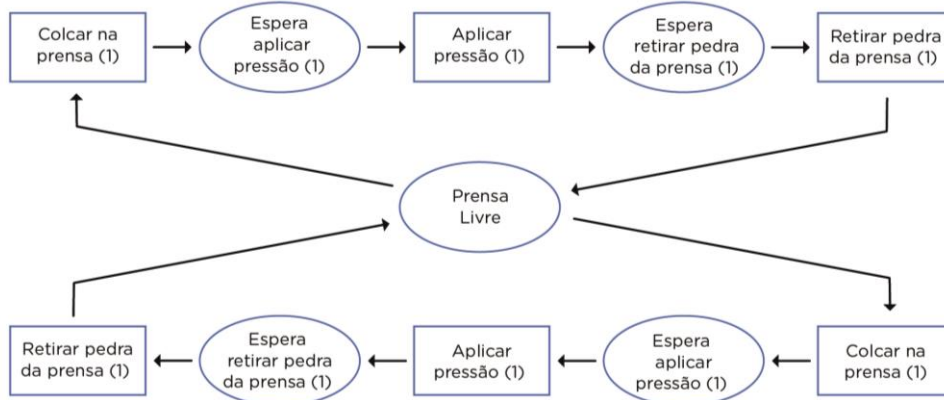


Figura 19 – DCV da Prensa

Temos ainda outra entidade, a ponte rolante, que será relevante nas transições entre etapas. As atividades em que a ponte rolante está presente podem ser observados de seguida no DCV da ponte rolante (Figura 20). As principais atividades em que está presente são carregamentos e descarregamentos das mesas de apoio, como também, nas etapas de colocação do produto Stork® no PS e no stock de Produto Acabado (PA).

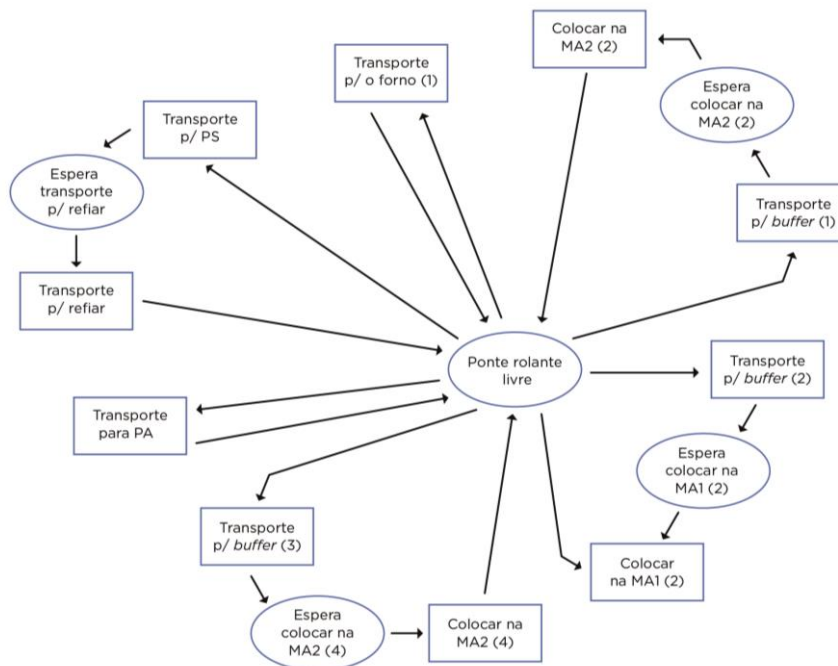


Figura 20 – DCV da Ponte Rolante

Relativamente à mesa de refiar, esta só estará presente na última etapa do processo produtivo. As atividades em que está presente é no processo de refiar e nas restantes atividades associadas ao mesmo. O DCV desta entidade pode ser observado na Figura 21.

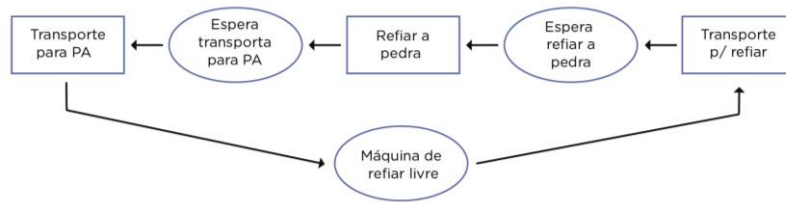


Figura 21 – DCV da Mesa de Refiar

Por último, temos a entidade Colaborador. Esta representará um maior conjunto de atividades, ou seja, estará presente praticamente em todo o processo produtivo. Podemos dividir a participação desta entidade em cinco Blocos distintos:

- Bloco 1: Até à colocação da pedra para a secagem.
- Bloco 2: Retirar do forno até à realização da aplicação de pressão 1
- Bloco 3: Retirar da prensa 1 até à realização da aplicação de pressão 2.
- Bloco 4: Retirar da prensa 2 até à colocação da pedra na pós cura.
- Bloco 5: Retirar da pós-cura até ao transporte para PA.

Todas estas etapas podem ser observadas no DCV do colaborador apresentado no Anexo B, Figura 59.

A entidade temporária Pedra estará presente em todas as atividades executadas no modelo. O início acontece quando a pedra entra no sistema, para ser transportada para o forno e o final verifica-se quando a pedra sai do sistema, após ter sido refiada e transportada para o stock de produto acabado (PA). O DCV da Pedra está representado no Anexo C, Figura 60.

5.3.2.1. Diagramas de Ciclos de Atividade do sistema

No DCA estão inseridos os DCV de todas as entidades relevantes ao sistema, bem como as interações entre elas. Com base nestes dois diagramas é que se procede à criação do modelo num *software* adequado. No Anexo D, Figura 61, Figura 62, Figura 63, Figura 64 e Figura 65 é apresentado o DCA do sistema. Optou-se por decompor o DCA em blocos, tal como, o DCV da pedra está descrito, para uma melhor compreensão do mesmo.

No DCA apresentado, de seguida, é importante salientar que existem atividades que são realizadas por duas ou mais entidades, pois existem atividades de transição em que é necessário transferir a entidade temporária de uma entidade permanente para outra.

5.4. Recolha e análise de dados relevantes

Nesta secção são descritos os dados recolhidos, e quais servem de base para o desenvolvimento do modelo de simulação. Com o objetivo de se obterem resultados coerentes, realizou-se um longo processo de recolha de informação com o intuito de se obterem dados suficientes representativos do sistema a simular.

Os dados foram recolhidos em dois sítios distintos. O primeiro no armazém da FW e o segundo numa empresa vizinha, Mármore Galvão. Nos armazéns da FW realizaram-se testes-

piloto para avaliar os tempos de deslocação necessários entre as etapas do desenvolvimento do produto. Os restantes dados – tempos de produção – recolheram-se na Mármore Galvão.

De seguida apresentaram-se os dados recolhidos referentes às especificações do processo produtivo, bem como os associados às deslocações entre etapas do processo. Foram ainda apresentadas algumas simplificações efetuadas na construção do modelo.

Horário de funcionamento

A fábrica em estudo opera de segunda a sexta-feira das 08:00h às 17:00h, com uma hora de almoço das 12:00h às 13:00h. No entanto este horário aplica-se apenas aos trabalhadores, pois, por exemplo o forno, trabalha 24h sobre 24h. É essencial referir que a atividade de pós-cura só irá ocorrer durante o horário diurno (08:00h – 17:00h) e a atividade de secagem ocorre no restante tempo. Sendo que no, fim semana, quando os produtos atingirem o tempo máximo de pós-cura e secagem, os sistemas desligam, ficando estes apenas a servir de armazenagem. Contudo, para simplificação do sistema não se irá ter em conta o ligar e desligar do sistema.

No mês de agosto vai existir uma paragem para manutenção das máquinas e descanso dos funcionários da empresa, ou seja, durante este mês não existe produção. Como existe a paragem total da fábrica, a alteração que se fará na simulação irá assumir que o ano tem apenas 11 meses, tornando assim mais simples a realização da simulação, não existindo a necessidade de criar uma paragem a meio da mesma.

Entrada de MP no sistema

As pedras para transformação são recebidas em pequenas quantidades, tratando-se quase de um caso *just-in-time*. Isto é, as pedras serão trabalhadas pouco dias após a sua entrega, sendo definido que as entregas de pedra serão semanais.

Como neste estudo de caso, o recurso à simulação tem como fim, responder às questões apresentadas pela empresa e essenciais para a implementação da fábrica e não para avaliação do funcionamento da linha.

Tendo em conta a informação apresentada no parágrafo anterior, é importante mencionar que já existe uma quantidade de produção diária que a empresa pretende atingir. Este valor foi definido devido a uma restrição de produção referida no 5.3. A quantidade apresentada pela empresa é de 5 placas de pedra frente e verso por dia. Tendo em conta estes objetivos, podemos concluir que será necessário que, em cada semana, entrem no sistema 25 placas de pedra.

Em relação às restantes MP, foi decidido que não seriam tidas em conta como entidades, mas sim como atividades, portanto não existe a necessidade de contabilizar as entradas e saídas das mesmas.

Capacidades produtivas dos equipamentos

Associados ao processo produtivo, existem apenas três equipamentos que delimitam as capacidades produtivas. Essas limitações podem estar associadas à capacidade dentro do forno, bem como à duração da atividade associada aos mesmos.

O primeiro equipamento que é utilizado no processo produtivo é o forno que vai desenvolver duas atividades: a secagem e a pós-cura da pedra. Este só tem capacidade de realizar a função em lotes de 5 pedras.

No que toca à prensa só existe a possibilidade de laminar uma peça de cada vez, ou seja, só se pode laminar uma nova peça após a primeira ter saído, o mesmo acontecendo na máquina de refiar

Saída de produto acabado do sistema

Através dos dados fornecidos, quando descrito o horário de funcionamento da empresa, conclui-se que o número de dias de produção anual é 220 dias. Associando o número de dias de trabalho por ano e a quantidade produzida por dia, pode concluir-se que irão ser produzidos 2200 painéis/ano.

Considerando que a área média produzida pela empresa será de 3 m² e que a quantidade de painéis produzidos por ano são 2200, podemos então concluir que a empresa com esta linha irá produzir cerca de 6600 m (Equação 1).

$$\text{Área de Stork produzido/ano} = N^{\circ} \text{ de painéis/ano} * \text{Área/painel} = 2200 * 3 = 6600 \text{ m}^2/\text{ano} \quad (1)$$

Duração das atividades a considerar durante a simulação

Como durante o desenvolvimento desta etapa da dissertação não existia nenhuma linha de produção associada ao estudo de caso em análise, esta limitação implicou que fosse necessário recorrer a outras empresas e a testes dentro da própria empresa com o objetivo de tornar o tempo o mais fidedigno possível. Tudo isto porque a única forma de garantir a veracidade dos testes seria se já existisse uma linha de produção que permitisse avaliar os tempos no sistema real.

Com a existência desta limitação, optou-se por fazer uma breve pesquisa para perceber melhor qual a forma de tornar os tempos o mais perto possível da realidade, acabando por se recorrer a uma distribuição triangular. Este método é muito utilizado em trabalhos da área da simulação. Nesta metodologia são fixados um máximo e um mínimo que correspondem aos extremos da distribuição e é ainda definido o valor mais provável, a moda (Okagbue *et al.*, 2014).

Para além das atividades que são definidas com recurso à distribuição apresentada no parágrafo anterior, existem ainda algumas atividades em que é necessário cruzar os tempos com a dimensão da placa. Devido a esta restrição, optou-se por chegar a um tempo por m² e só depois multiplicar pela dimensão média das placas, visto que será quase sempre o tamanho utilizado.

Existem ainda os tempos de atividade que são fixos, visto serem condições obrigatórias para que o produto tenha as características pretendidas. Todos estes tempos já foram apresentados durante a análise do estudo de caso.

No que toca às atividades de transporte foi definido um tempo médio.

Após a análise dos tempos das atividades e as condições analisadas anteriormente, na Tabela 7, são apresentados os tempos recolhidos relativos à duração das atividades em causa.

Tabela 7 - Tempos associados à produção

Atividades	Tipo	Medições (minutos)			Atividades	Tipo	Medições (minutos)		
		Mínimo	Moda	Máximo			Mínimo	Moda	Máximo
Transporte para o forno (1)	Constante	5			Colocar na ML2 (2)	Triangular	1	1,5	1,5
Colocar no forno (1)	Triangular	2	2	3	Preparação da Fibra (2)	Triangular	2,8	3	4
Secagem da Pedra	Constante	480			Laminagem (2)	Triangular	15	22	25
Retirar do Forno (1)	Triangular	2	2	3	Colocar na Prensa (2)	Triangular	2	2,5	4
Colocar na MA2 (1)	Constante	1,5			Aplicação de Pressão (2)	Constante	30		
Transporte para o Buffer (1)	Constante	5			Retirar da Prensa (2)	Triangular	2	2	2,5
Colocar na MA2 (2)	Constante	3			Colocar na ML1 (2)	Constante	1		
Transporte para ML1	Constante	2,5			Colocar na MA2 (3)	Constante	1,5		
Colocar na ML1 (1)	Triangular	1	1,5	1,5	Transporte para o Buffer (3)	Constante	3		
Preparação de Fibra (1)	Triangular	2,8	3	4	Colocar na MA2 (4)	Constante	3		
Laminagem (1)	Triangular	15	22	25	Transporte para Forno (2)	Constante	3		
Colocar na Prensa (1)	Triangular	2	2,5	4	Colocar no forno (2)	Triangular	2	2	3
Aplicação de Pressão (1)	Constante	30			PósCura da Pedra	Constante	480		
Retirar da Prensa (1)	Triangular	2	2	2,5	Retirar do Forno (2)	Triangular	2	2	3
Colocar na ML2 (1)	Constante	1			Transporte para o PS	Constante	5		
Colocar ba MA1 (1)	Constante	1,5			Transporte para Refiar	Constante	8		
Transporte para o Buffer (2)	Constante	3			Refiar Pedra	Triangular	30	45	60
Colocar na MA1 (2)	Constante	3			Transporte para PA	Constante	2,5		
Transporte para ML2	Constante	3							

5.5. Construção do modelo piloto em Simul8

Neste subcapítulo é desenvolvida a descrição do processo a construção do modelo de simulação em Simul8, bem como uma breve explicação acerca das especificações inseridas no *software*. Recorrendo aos DCV das entidades e ao DCA do sistema construiu-se o modelo de simulação de raiz.

Face à necessidade de responder à questão de quantos colaboradores são necessários para tornar o processo o mais otimizado possível, visto ser o único parâmetro em que se pode provocar variações, foi desenvolvido o modelo de simulação apresentado na Figura 22.

De salientar que à extensão do modelo, serão apenas apresentadas as atividades de maior relevância e/ou complexidade, que se encontram ilustradas no texto, enquanto que as restantes são ilustradas no Anexo E – Ilustração das restantes atividades pertencentes ao modelo de simulação.

Para uma melhor compreensão do modelo optou-se por continuar a utilizar o agrupamento por Blocos utilizado durante o desenvolvimento dos DCV's:

- Bloco 1: Até à colocação da pedra para a secagem.
- Bloco 2: Retirar do forno até à realização da aplicação de pressão 1
- Bloco 3: Retirar da prensa 1 até à realização da aplicação de pressão 2.
- Bloco 4: Retirar da prensa 2 até à colocação da pedra na pós-cura.
- Bloco 5: Retirar da pós-cura até ao transporte para PA.

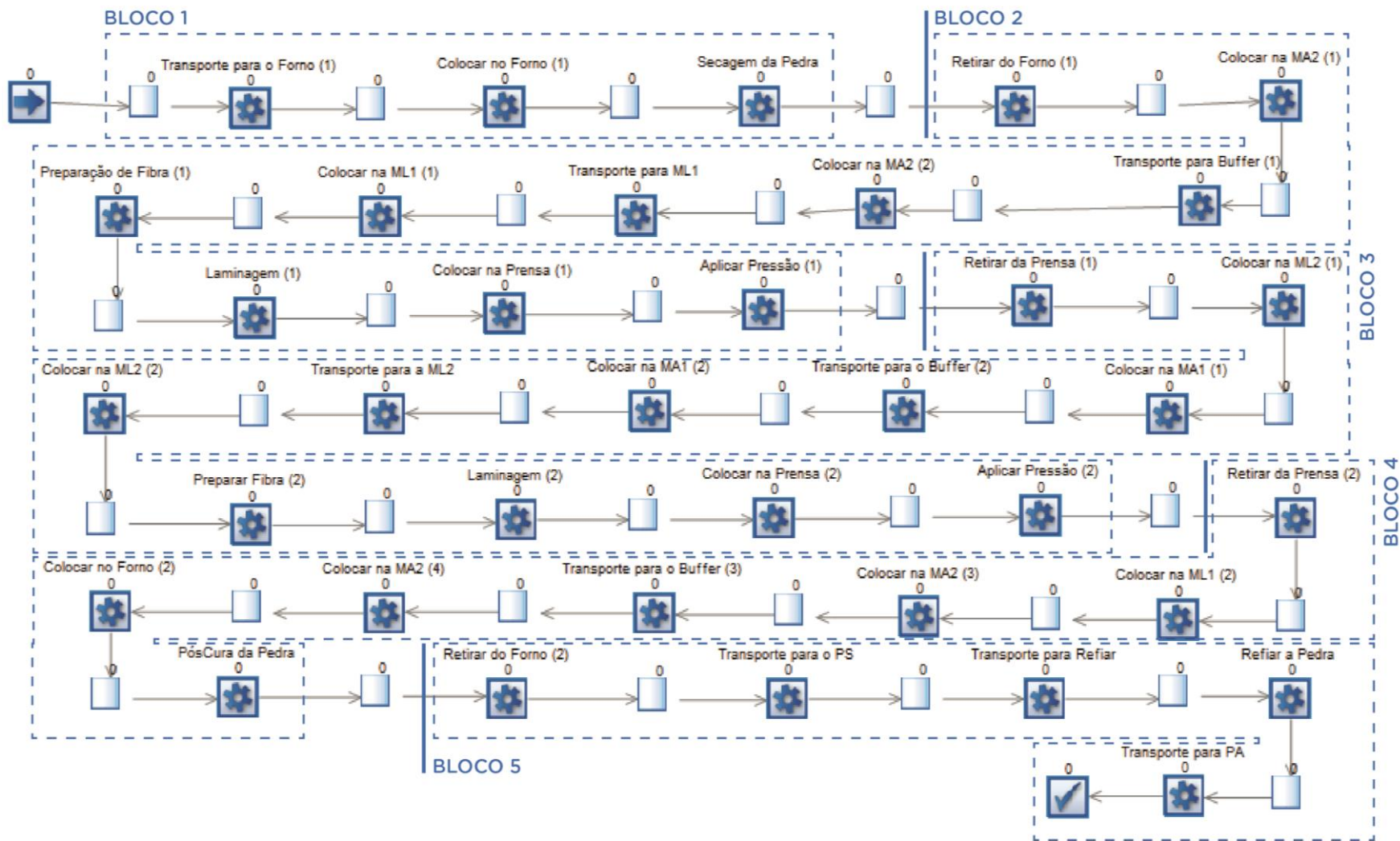


Figura 22 – Modelo de simulação no Simul8

Condições iniciais

Para a realização da simulação é necessário definir algumas condições iniciais básicas. A primeira definida foi o horário do modelo de simulação. Esta condição é definida nas propriedades do relógio (*Clock Properties*). Definiu-se como hora de início do dia as 00:00 horas, uma duração de 24h e que estaria ativa durante 7 dias por semana, como pode ser observado na Figura 23.

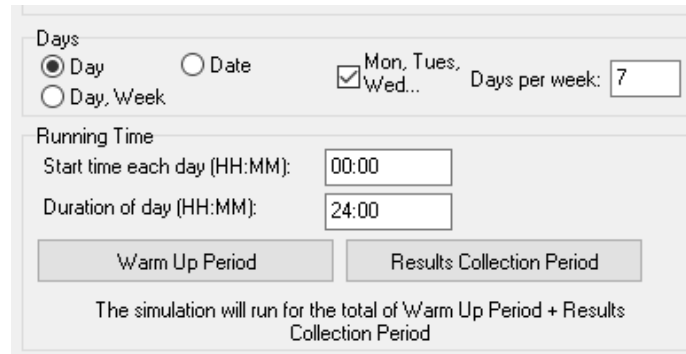


Figura 23 – Propriedades do Relógio no Simul8

Apesar de ter sido definido o horário, existe uma série de atividades que funcionam em horário reduzido, para tal foram criados turnos no modelo. Estas condições foram definidas na mudança de turnos (*shifts partners*). Os turnos definidos são: o turno de trabalho da manhã e o da tarde, o do funcionamento do forno e o do funcionamento do secador (Figura 24).

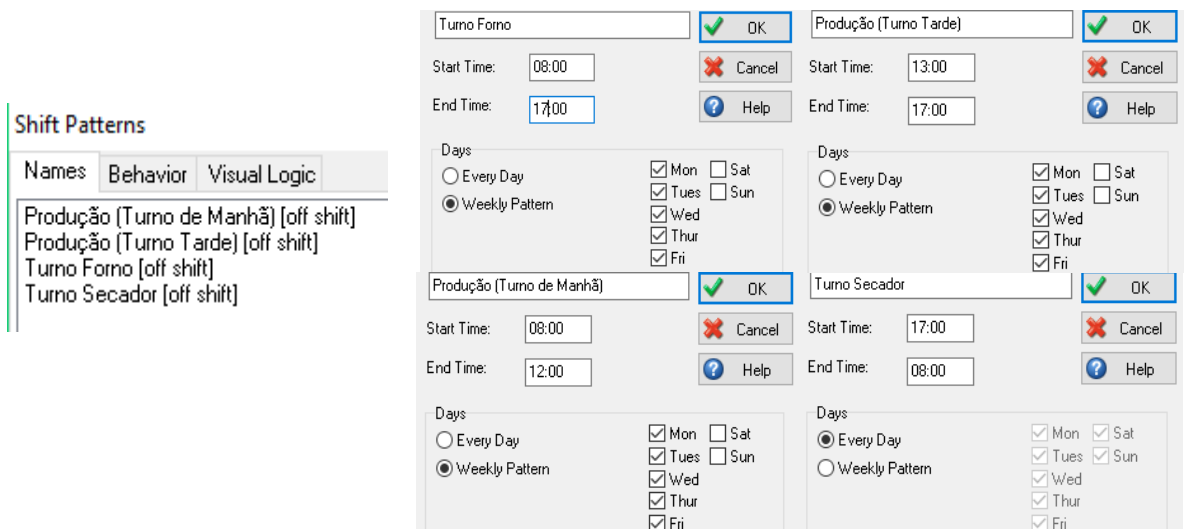


Figura 24 – Turnos criados para o modelo de simulação

Existe ainda outra condição importante a definir antes do desenvolvimento do modelo de simulação: uma definição automática que o *software* apresenta relativamente à distância entre cada ícone, o tempo de viagem (*Travel Time*) do *work item* entre objetos. O programa define que a distância no ecrã é proporcional à distância real. Como nesta simulação, as deslocações que são tidas como importantes são definidas como atividades, não existe a necessidade de ter em conta o *Travel Time*, pelo que, este parâmetro foi configurado para ter um valor zero, como pode ser observado na Figura 25.

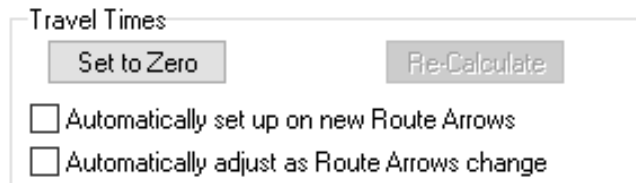







Figura 25 – Configuração do *Travel Time*

Após a definição das condições iniciais, já é possível desenvolver o modelo de simulação no simul8, para tal irão ser configurados os *items* apresentados na Tabela 8.

Tabela 8 – Ícones do Simul8

Ícone	Nome	Descrição
	<i>Start Point</i>	Local onde os <i>work items</i> chegam ao sistema.
	<i>Queue</i>	Local onde os <i>work Items</i> esperam até ser processados.
	<i>Activity</i>	Local onde os <i>work items</i> são processados.
	<i>End</i>	Local onde os <i>work items</i> saem do sistema.
	<i>Resource</i>	São os <i>items</i> utilizados para ajudar à realização das atividades.

Recursos associados ao modelo de simulação

Ainda no início da simulação foram definidos no sistema todos os recursos associados ao modelo. Esses recursos foram criados no separador *resources*, como é possível observar na Figura 26. É importante referir que quase todos os recursos são em quantidade unitária, com exceção do forno e o colaborador que têm as quantidades de 5 e 3, respetivamente. Existem 5 fornos, visto que existem 5 espaços livres dentro do forno. Na figura 26 fica ainda um exemplo da definição da quantidade de recursos do forno.

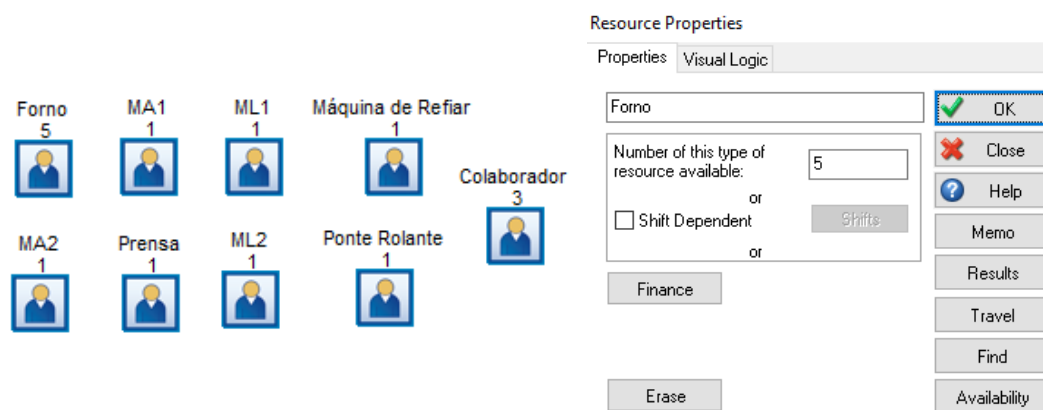


Figura 26 – Recursos associados ao modelo de simulação

Taxa de recepção de pedras no sistema

A pedra entra no sistema através de um *start point*, como pode ser observado na Figura 27. Como já foi definido anteriormente, a taxa de entrada de pedra é de 25 pedras por semana (10080 minutos), ou seja, apresenta uma distribuição fixa. Como existia a necessidade de garantir que havia pedras para começar a produção, iniciou-se a simulação, selecionou-se o *first in start time*. Esta funcionalidade garante que o start point começa logo com 25 pedras e para comprovar foi necessário efetuar um *batching* (Figura 27).

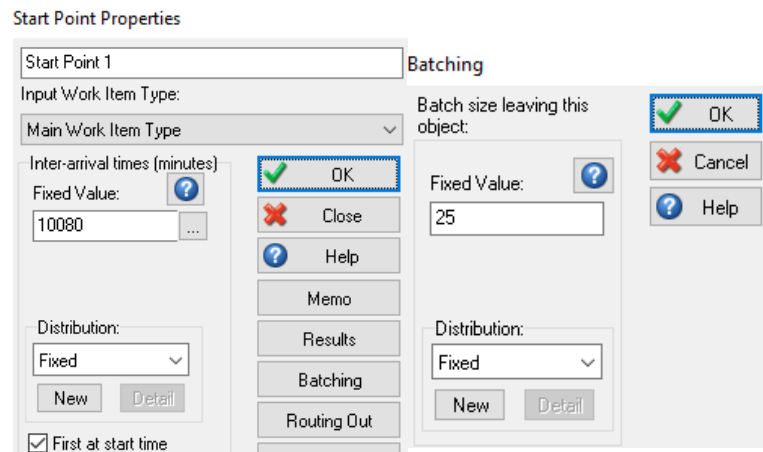


Figura 27 – Start Point (Chegada da Pedra)

Bloco 1 – Até à colocação da Pedra para a Secagem

Neste Bloco existem 3 atividades associadas. Para se garantir que as três atividades ocorrem sequencialmente, optou-se por definir um recurso fictício que está associado às três atividades de forma a que só se possa recomeçar de novo a atividade 1. Se nenhuma das 3 estiver a ocorrer. Como tal, durante a explicação da configuração de cada uma delas pode-se observar que existe um recurso fictício (4) associado a todas.

A primeira atividade consiste no Transporte para o Forno (1). Esta é realizada com o recurso a uma ponte rolante, à MA1 e a um colaborador. A duração desta atividade foi retirada da Tabela 7. Uma vez que a atividade só pode funcionar no horário de trabalho dos colaboradores, foi necessário selecionar os turnos de produção da manhã e da tarde. As configurações realizadas podem ser observadas na Figura 28.

A segunda atividade que compõe este Bloco é a Colocação no Forno. Nesta fase são necessários 3 recursos: o forno, o colaborador e a MA1. Para a definição do tempo desta atividade recorreu-se à Tabela 7 e mantiveram-se os turnos definidos na atividade anterior. As configurações encontram-se no Anexo E, Figura 66.

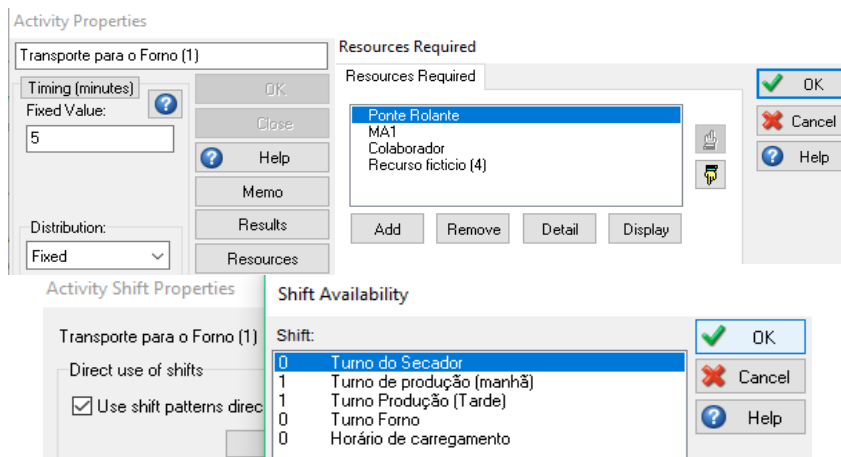


Figura 28 – Configurações da atividade de Transporte para o Forno (1)

A terceira e última atividade deste Bloco é a secagem da pedra. Esta atividade tem como recurso apenas o forno e só pode ocorrer durante a noite, pelo que se definiu um turno específico para a mesma. Segundo as restrições da empresa, no que toca ao forno, houve a necessidade de garantir, que só começaria a atividade, quando tivesse 5 pedras no seu interior. Para tal existiu a necessidade de restringir o início da atividade, ou seja, no *routing in* (o que entra) definiu-se que para esta ocorrer, era necessário coletar 5 pedras. Houve ainda a obrigação de desmarcar a seleção *assemble* (juntar), porque se não se realizasse essa ação, o que iria acontecer é que, no final da atividade, havia uma entidade temporária e não as mesmas 5 que entraram. Em relação ao tempo voltou-se a recorrer ao mesmo local das atividades anteriores. Todas estas configurações são possíveis de observar na Figura 29.

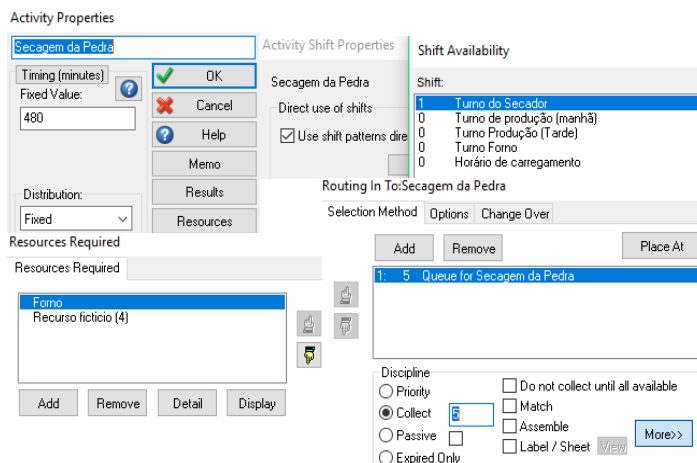


Figura 29 – Configurações da atividade Secagem da Pedra

Após a configuração das atividades do Bloco 1 estarem aplicadas no modelo de simulação foi necessário definir um *start up* na fila de espera, que aparece de seguida. Isto é, para que o sistema estivesse a trabalhar em ritmo cruzeiro, era obrigatório garantir que já existissem pedras secas prontas a retirar do forno. Esta restrição foi aplicada, para que, fosse possível avançar o início da simulação para um dia em que todos os processos pudessem ocorrer com normalidade,

sem que fosse obrigatório esperar algum tempo (dias) até que o sistema entrasse em modo contínuo. Estas alterações podem ser observadas na Figura 30.

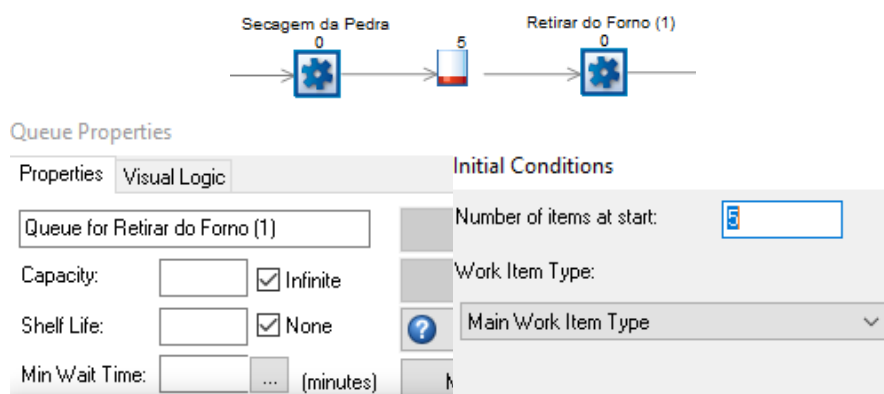


Figura 30 – Configuração da fila de espera para o Bloco 2

Bloco 2 – Retirar do forno até à realização da aplicação de pressão (1)

Quando a pedra está seca, é necessário retirá-la do forno. A atividade que está associada a essa etapa do processo pode ser englobada num Bloco constituído por algumas atividades. Este pode ser subdividido em dois setores: o primeiro começa na atividade Retirar do Forno (1) e vai até à Colocação no *Buffer* e o segundo que começa no Colocar na MA2 (2) e termina no fim do Bloco.

1º Setor do Bloco 2

Neste setor foi criado, novamente, um novo recurso fictício, Recurso Fictício (1), para garantir que as três atividades ocorriam sequencialmente, tal como no Bloco 1 e com o mesmo objetivo. As atividades que compõem este setor são 3 e todas elas só podem ocorrer no horário de produção diária, ou seja, no turno da manhã e no turno da tarde.

A primeira é Retirar do Forno (1) e, para a realização da mesma é necessário recorrer ao colaborador, à MA2 e ao forno. A duração da atividade foi mais uma vez retirada da Tabela 7. A sua configuração aparece retratada no Anexo E, Figura 67.

A atividade seguinte é Colocar na MA2 e, como esta consiste no ajuste da pedra após ter sido retirada do forno, apenas são necessários os recursos: colaborador e MA2. O tempo será o anteriormente fixado (Anexo E, Figura 68).

Por último aparece a atividade Transporte para *Buffer* (1) em que para além dos recursos utilizados na anterior, aparece ainda a Ponte Rolante (Anexo E, Figura 69).

Na transição entre o setor 1 e o 2 existiu a necessidade de criar uma atividade fictícia de duração 0. O intuito da criação da mesma foi para garantir que antes de se começar a realizar as atividades do 2, todas as 5 pedras retiradas do forno já tinham realizado a atividade de Transporte para o *Buffer* (1) (Figura 31).

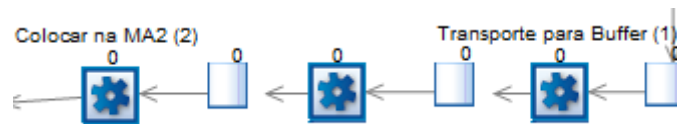


Figura 31 – Localização da Atividade Fictícia

Esta atividade criada, tem a simples função de agrupar as 5 pedras antes do início da atividade esperando que, na saída da atividade, saiam as mesmas 5. A técnica utilizada é igual à utilizada na Secagem da Pedra. Como esta atividade não tem duração nem recursos associados, não vai influenciar em nada os resultados da simulação. A configuração está ilustrada na Figura 32.

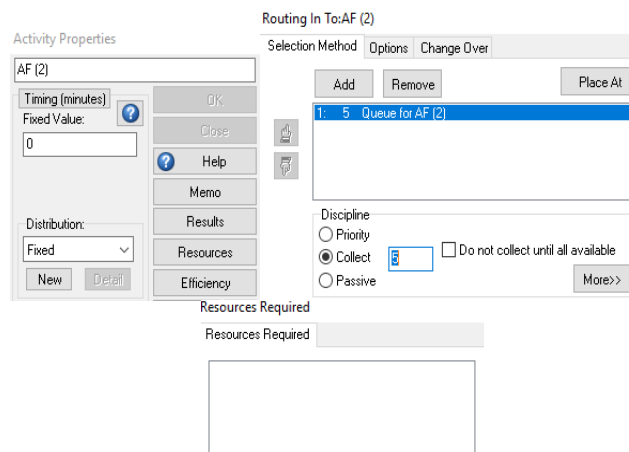


Figura 32 – Configurações da Atividade Fictícia

2º Setor do Bloco 2

Após a atividade fictícia começa este segundo setor que tem como primeira atividade a Colocação na MA2. Com o objetivo de garantir que as atividades deste setor são realizadas em sequência, criou-se um recurso extra, Recurso Fictício (4), com exceção da Aplicação de Pressão (última atividade do Bloco 2) que pode ocorrer em simultâneo com outras. É importante referir que neste setor mantêm-se os turnos de trabalho, manhã e tarde.

Na primeira atividade existe a utilização dos recursos colaborador, ponte rolante e MA2. As configurações referentes ao Colocar na MA2 (2) encontram-se no Anexo E, Figura 70. De seguida aparece a atividade Transporte para ML1, os recursos associados à mesma são: colaborador, MA2 e ML1 (ilustrado no Anexo E, Figura 71).

A seguinte é Colocar na ML1 (1), onde são utilizados apenas dois recursos a ML1 e o colaborador (configurações no Anexo E, Figura 72). Depois de colocar na ML1, existe a necessidade de preparar a fibra para a laminagem. Para o efeito criou-se a atividade Preparação da Fibra (1). Esta irá necessitar da ML1 e de dois colaboradores. Para configurar a atividade e duplicar o recurso colaborador, foi necessário abrir os detalhes (*detail*) e no *number required*, definir que 2 representam o máximo e o mínimo. Estas configurações podem ser observadas na Figura 33.

Na sequência do que foi referido anteriormente, o que se segue é a laminagem, que obrigou à criação de uma atividade, Laminagem (1), que executasse a função referida. Nesta mantém-se a necessidade de ter 2 colaboradores e ainda a ML1, ou seja, o processo de configuração é igual ao da atividade anterior. As configurações são apresentadas na Figura 34.

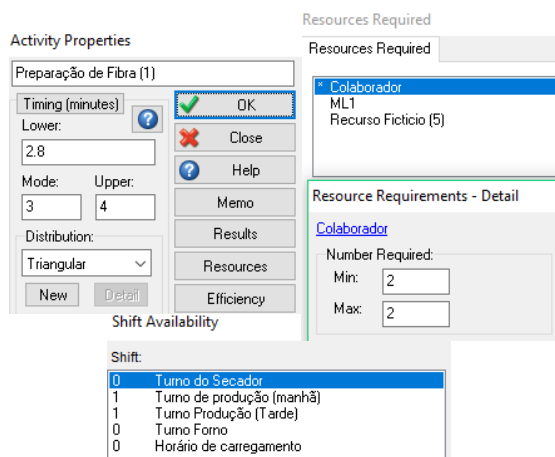


Figura 33 – Configuração da Atividade Preparar Fibra

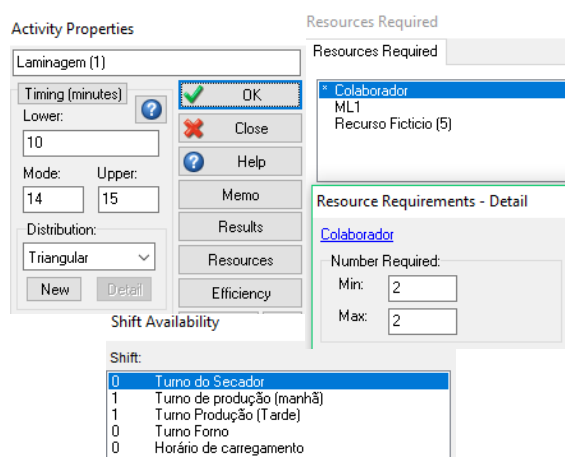


Figura 34 – Configurações da Laminagem (1)

De seguida aparece a atividade, Colocar no Forno (1). Nesta atividade já só é necessário apenas um colaborador e os restantes recursos são a prensa e a ML1. Esta é a última em que é necessário o recurso fictício neste Bloco. A última é a Aplicação de Pressão em que é apenas necessária a prensa para que a atividade ocorra (Anexo E, Figura 73).

Bloco 3 – Retirar da prensa (1) até à realização da aplicação de pressão (2)

Tal como aconteceu no Bloco 2, este também pode ser dividido em dois setores distintos: o primeiro inicia-se com a retirada da pedra da prensa e termina com a colocação das pedras laminadas já de um lado num *buffer* intermédio. A segunda começa com a colocação da pedra na MA1 e termina com a aplicação da pressão.

1º Setor do Bloco 3

Este setor é composto por 4 atividades que têm de ser realizadas sequencialmente, pelo que se voltou a alocar um novo recurso fictício, Recurso Fictício (6). Como nas quatro atividades existe a necessidade de alocar o recurso colaborador voltou a definir-se que os turnos de trabalho das mesmas seriam os turnos de produção (manhã e tarde).

A primeira atividade consiste no retirar da pedra da prensa. Esta tem alocado 3 recursos, o colaborador, a prensa e a ML2. Retirar da Prensa (1). De seguida aparece a Colocação na ML2 (1), para a qual é libertada a prensa, mas os restantes recursos continuam em utilização. As configurações destas duas atividades encontram-se no Anexo E, Figura 74.

A atividade que ocorre de seguida é a Colocar na MA1 (1). Nesta os recursos são os da atividade anterior mais a MA1 e os tempos são retirados da Tabela 7 (ilustrada no Anexo E, Figura 75)

Por último, aparece o Transporte para o Buffer (2), onde são utilizados mais uma vez o colaborador e MA1 e ainda a Ponte Rolante. O tempo definido e o respetivo tipo de distribuição foram apresentados anteriormente (Tabela 7). As configurações associadas a esta atividade podem ser observadas no Anexo E, Figura 76.

Após o primeiro setor e antes de se iniciar o segundo, existiu a necessidade de criar mais uma atividade fictícia, AF (3), ilustrado na Figura 35. A criação desta atividade teve como objetivo garantir que o setor 2 só começa, quando as 5 pedras que estão a ser produzidas nesse dia, passem o setor 1. Para cumprir o objetivo pretendido configurou-se a atividade fictícia, que para realizar foram necessárias cinco pedras. Esta atividade tem duração de zero min e não tem recursos associados. As características da mesma estão ilustradas na Figura 36.

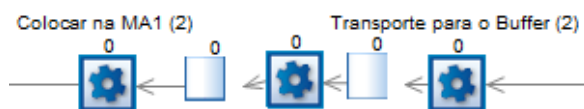


Figura 35 – Posicionamento da AF (3)

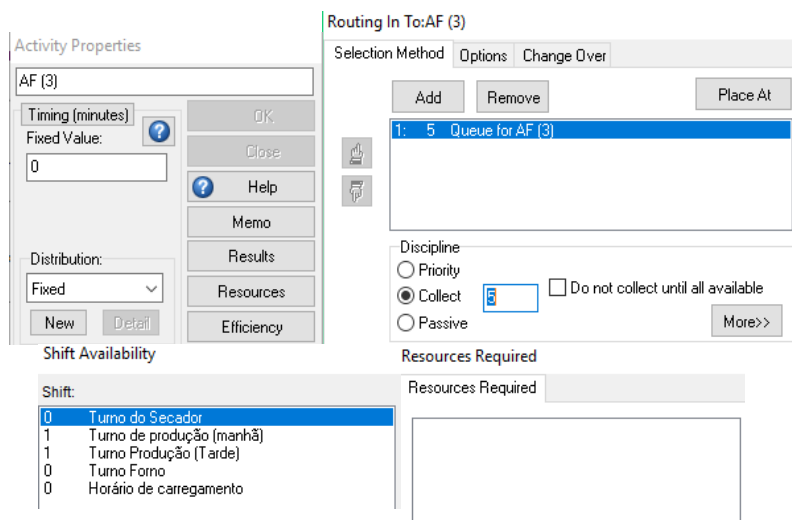


Figura 36 – Configurações da atividade fictícia, AF (3)

2º Setor do Bloco 3

Este segundo setor, em termos de atividade, é igual ao 2º setor do Bloco 2. Isto é, ambos começam com a colocação da pedra numa das duas mesas de apoio e todas as atividades que se seguem vão sendo iguais até à aplicação de pressão. A repetição das atividades ocorre porque no processo do produtivo do Stork® existe a necessidade de repetir o processo para os dois lados da pedra.

Bloco 4 – Retirar da Prensa (2) até à colocação da pedra na Pós Cura

Este Bloco começa com a atividade Retirar da Prensa e termina na Pós Cura, onde os tempos associados às atividades foram todos retirados da Tabela 7. Podemos ainda afirmar, ao contrário do que se verificou nos dois Blocos anteriores, que não existe um turno fixo para todas as atividades.

No que toca a esta atividade foram alocados o colaborador, a prensa e a ML1. Nesta o turno definido comporta mais uma vez os associados à produção (ilustrado no Anexo E, Figura 77). Segue-se a Colocar da ML1 (2) e depois a Colocar na MA2 (3), em que em ambas as atividades, estão alocados o colaborador e a ML1 e na segunda é ainda utilizado a MA2, é ainda importante referenciar que o turno que se mantém é o da primeira atividade deste bolco (Anexo E, Figura 78).

A atividade que aparece de seguida é Transporte para *Buffer* (4). A esta estão alocados a ponte rolante, o colaborador e a MA2 e o turno de trabalho mantém-se. A configuração desta atividade pode ser observada no Anexo E, Figura 79.

Nas quatro atividades, anteriormente apresentadas, foi criado um novo recurso fictício, Recurso Fictício (3), para garantir que as atividades ocorram sequencialmente, porque uma pedra tinha de fazer estas quatro atividades antes que uma nova começasse a realizar o mesmo percurso.

Para garantir as restrições da empresa combinou-se que as 5 pedras diárias são levadas para o *buffer* antes de se colocarem no forno para a pós cura, ou seja, constatou-se a necessidade de criar uma atividade fictícia (AF (4)), com duração de zero minutos e sem recursos associados, que para ocorrer necessita também de acumular 5 pedras (Figura 37). Contudo é importante garantir que entram 5 pedras, mas que saem 5 também. Para tal foram definidas uma série de configurações, às quais para além das tradicionais (recursos, tempo e turno), foi ainda imprescindível definir no *routing in* que entravam 5 pedras, mas sem que ocorra o *assemble* das mesmas. As configurações podem ser observadas na Figura 38.

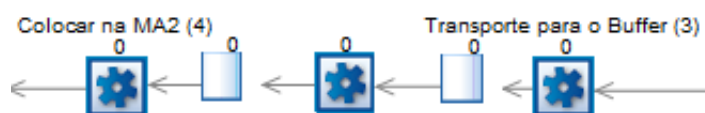


Figura 37 – Posicionamento da AF (4)

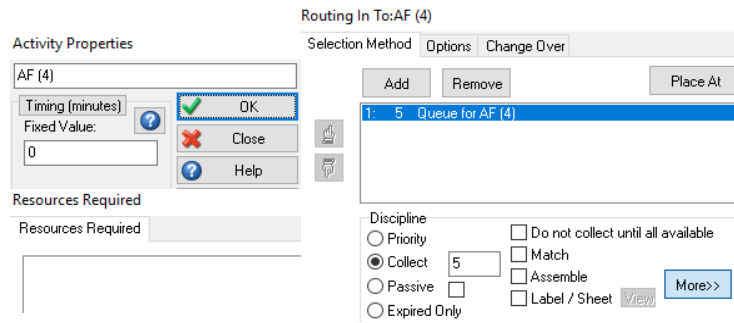


Figura 38 – Configurações AF (4)

Após a atividade fictícia decorrer a de Colocar na MA2 (4). Nesta, os recursos alocados são os mesmos que fazem parte do Transporte para o *Buffer* e o turno continua a ser o de produção. Segue-se a Colocar no Forno (2) que tem alocado a si a MA2, o colaborador e o forno. Para as duas atividades ocorrerem sequencialmente definiu-se um recurso extra (Recurso Fictício (2)). As configurações destas duas atividades encontram-se ilustradas no Anexo E, Figura 80.

A última atividade deste Bloco é a PósCura da Pedra. Nesta atividade o único recurso que está alocado é o forno, mas foi ainda criado um horário de trabalho, Turno Forno, diferente do utilizado nas atividades anteriores. Segundo as restrições da empresa, o forno só pode executar a atividade quando existirem 5 pedras, mas têm de se garantir que saem as 5 pedras separadas. Para o efeito de garantir as restrições definiu-se no *routing in* que fazia o *collect* de 5 pedras, mas removeu-se a funcionalidade de *assemble*. Todas as configurações podem ser observadas na Figura 39.

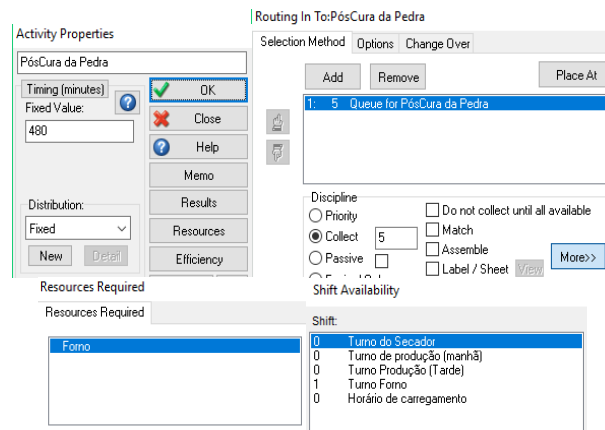


Figura 39 – Configurações da PósCura da Pedra

Antes de se dar por terminado as configurações do Bloco 4, foi necessário garantir que a simulação iria ocorrer logo em modo cruzeiro assim que se iniciassem os testes. Para tal, teve de se definir que na manhã do dia 0 iria haver pedras que iriam para a Pós Cura. Esta condição foi possível com a colocação de um *start up* na fila de espera antes da atividade Colocar na MA2 (4), como pode ser observado na Figura 40.

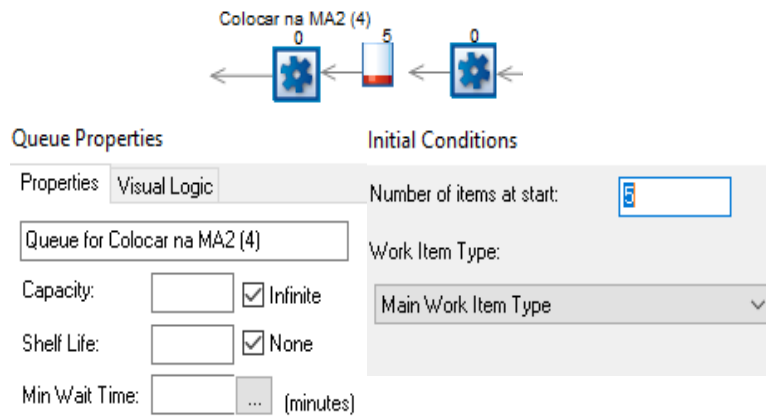


Figura 40 – Configuração da fila de espera

Bloco 5 – Retirar da pós cura até ao transporte para PA

Este último Bloco é constituído por 5 atividades. As primeiras três são atividades bastante simples em que apenas é necessário definir os recursos alocados, a duração da atividade e o respetivo turno de trabalho. As atividades são: Retirar do Forno (2), Transporte para PS e Transporte para Refiar, as configurações das mesmas estão ilustradas no Anexo E, Figura 81, Figura 82, Figura 83, respetivamente.

Após o Transporte para Refiar, a atividade que aparece é Refiar a Pedra. Nesta atividade entra uma pedra e saem duas separadas. Para definir esta função, foi necessário configurar o *routing out* alterando o *fixed value* do *batching* para 2. Os recursos alocados são o colaborador e a máquina de refiar e o turno é o de produção. Todas as configurações abordadas acerca do Refiar a pedra encontram-se ilustradas na Figura 41

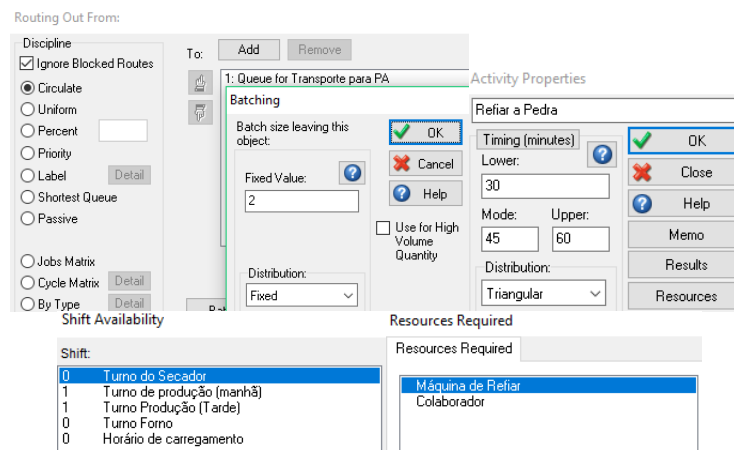


Figura 41 – Configurações da atividade Refiar a Pedra

Finalmente aparece a atividade Transporte para a PA e a respetiva saída do sistema. No que toca à atividade as configurações são as básicas necessárias (turno, duração e recursos), estão ilustradas no Anexo E, Figura 84. Em relação à saída do sistema, esta é criada a partir de um ponto de saída (*end point*), para que seja possível às entidades saírem do sistema (Figura 42).

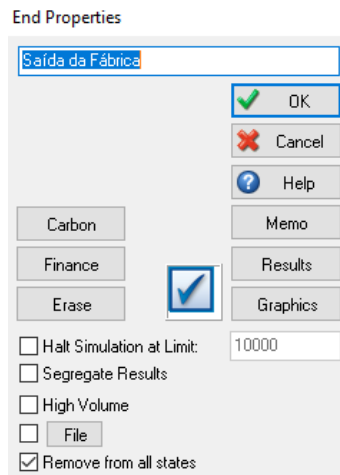


Figura 42 – Configuração do *End Point*

Após a definição de todas as configurações e ajustes de atividades e recursos, chegou-se ao modelo final que é apresentado na Figura 43.

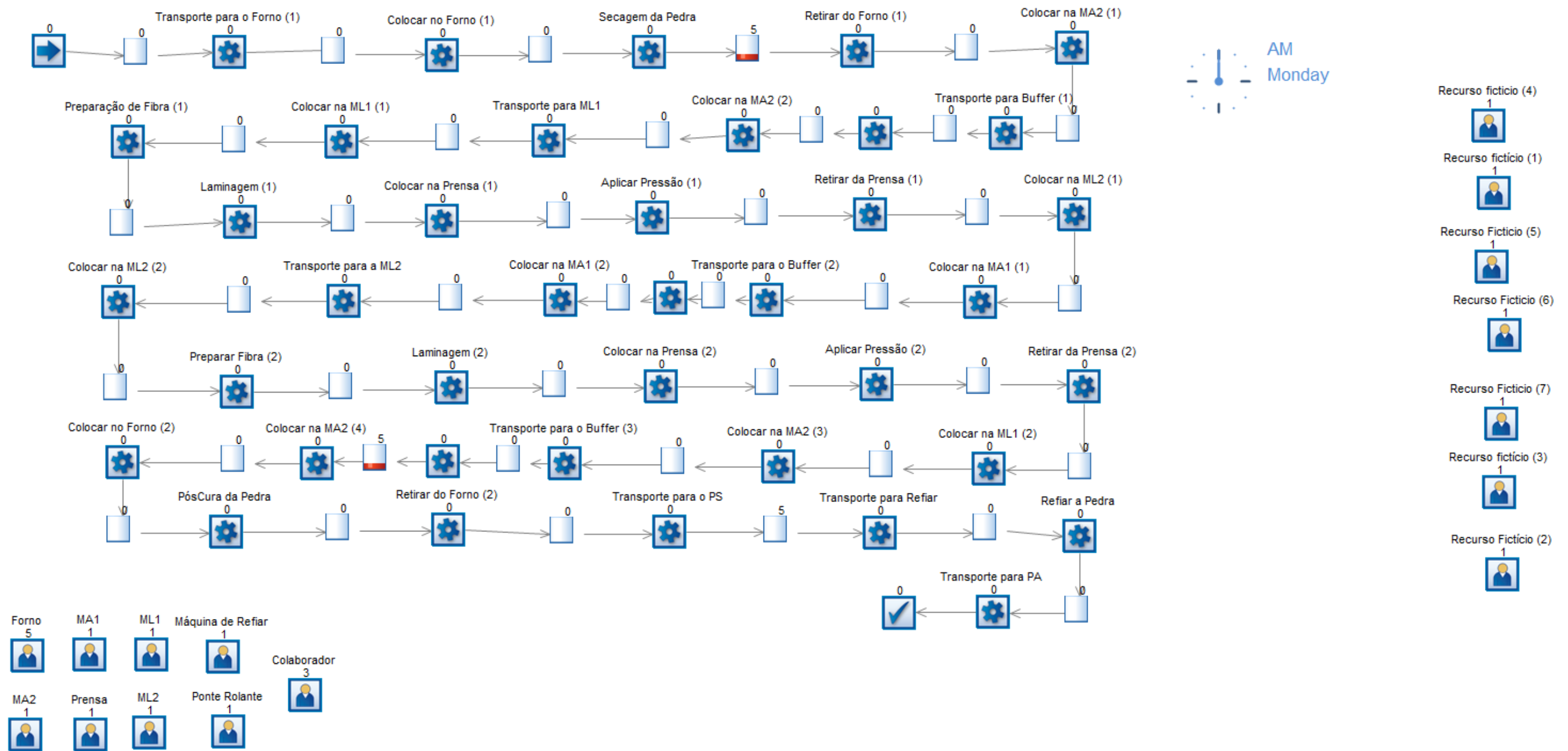


Figura 43 – Modelo de Simulação completo do Simul8

5.6. Verificação e Validação do modelo

A fase que se segue é a verificação e validação do modelo de simulação. Esta é uma das mais importantes para desenvolvimento do mesmo.

Apesar de se utilizar um modelo simplificado do modelo real, os resultados obtidos estão próximos dos reais. É ainda importante garantir que a simplificação do modelo permite manter a situação real da empresa e não outra distinta.

O recurso à verificação e validação tem como objetivo garantir que as condições anteriormente abordadas sejam cumpridas. A verificação processa-se com o intuito de analisar se não existem erros de implementação, enquanto que a validação tem como objetivo garantir que o modelo apresenta o rigor necessário de modo a imitar a realidade.

A primeira análise realizada foi associada à verificação do bom funcionamento do modelo. Foram efetuadas as análises às atividades ou setores de atividades que mais dificuldades criaram durante a fase do desenvolvimento do modelo. As atividades analisadas foram as atividades de secagem e pós-cura da pedra, e as atividades fictícias para garantir que estavam a cumprir o objetivo pretendido. Procurou-se ainda fazer a análise à atividade de refiar, para garantir que existe a duplicação dos *work items*, ou seja, que a quantidade que entra corresponde a metade da que sai.

Para a realização destes testes optou-se por realizá-los para 2 meses, como configuração inicial. A escolha deste número não foi inteiramente aleatória, uma vez que é necessário avaliar a chegada de vários conjuntos de pedra. Foi escolhido um período de tempo que conseguisse abranger todos os processos de forma a testar o modelo e verificasse se as atividades se encontravam bem implementadas.

Verificação do modelo de simulação

Entrada de Pedras no sistema através do *Start Point*

A primeira verificação a realizar é garantir que as pedras enquanto MP entram corretamente no sistema. Analisou-se então a fila de espera que recebe os *work items* do *start point*. Com a análise desta fila de espera, foi possível confirmar que a pedra entrava no sistema de forma correta, visto que apresentava sempre o valor definido ao início tanto em termos de quantidade (25 unidades) como em termos de duração (a cada 10080 minutos). Esta conclusão pode ser observada na Figura 44 – Ocupação da fila de espera após *Start Point*.

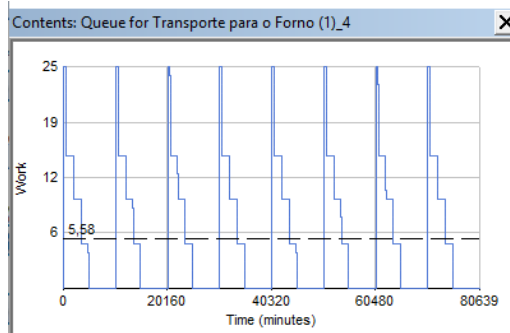


Figura 44 – Ocupação da fila de espera após *Start Point*

Atividade de Secagem

Nesta atividade é necessário garantir que existe a secagem das pedras 5 a 5 e que na fila de espera seguinte saem sempre conjuntos de 5. Para tal foi analisada a quantidade de *work items* que entram e a quantidade de trabalhos completos na atividade (Figura 45). Ao comparar estes dois dados, concluí-se que 200 a dividir por 40 dá 5, logo por cada trabalho completo são utilizados 5 *work items*. Contudo para confirmar recorreu-se ainda à comparação de dois gráficos, o primeiro que está associado á relação entre os *work items* que saem da fila de espera para a atividade e o tempo e o segundo que relaciona trabalho com o tempo (atividade secagem da pedra). Estes gráficos podem ser observados na Figura 46.

Queue for Secagem da Pedra		Secagem da Pedra	
Number of work items in this storage:	OK	Number of work items:	OK
Currently:	0	Currently in Activity:	0
Minimum:	0.00	Minimum:	0.00
Average:	1.24	Average:	0.24
Maximum:	5.00	Maximum:	1.00
Total Entered:	200	Completed Jobs:	40

Figura 45 – Resultados da Secagem da Pedra

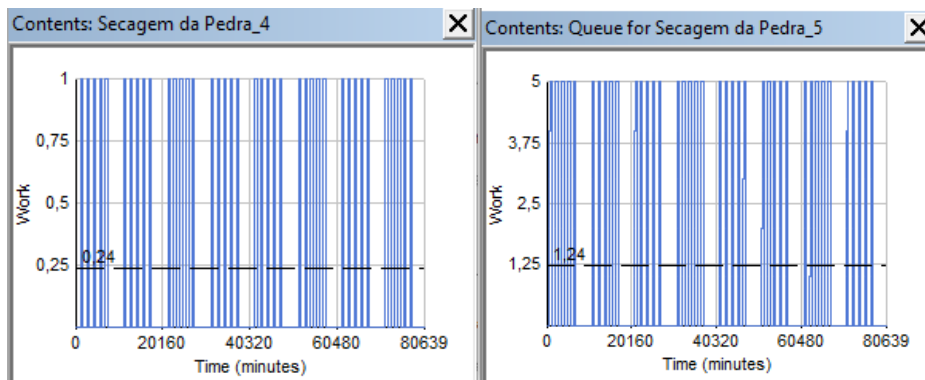


Figura 46 – Gráficos de apoio da Secagem da Pedra

Para além da verificação já comprovada para esta atividade, existe ainda a necessidade de garantir que à saída desta e por cada trabalho, saem 5 *work items*. Para tal, foi analisado a quantidade que passa pela fila de espera e que aparece após a atividade Secagem da Pedra. Como pode ser observado na Figura 47 entraram na fila de espera 200 *work items*, a mesma quantidade que entra na fila de espera anterior à atividade Secagem da Pedra.

Queue for Retirar do Forno (1)	
Number of work items in this storage:	<input checked="" type="checkbox"/> OK
Currently:	5
Minimum:	0,00
Average:	2,52
Maximum:	5,00
Total Entered:	200

Figura 47 – Resultados da fila de espera Retirar do Forno (1)

Atividade de PósCura da Pedra

Neste tópico de verificação existe a necessidade de provar que se mantêm as mesmas condições da atividade anterior, ou seja, existe a necessidade de garantir que os trabalhos realizados utilizam sempre 5 *work items*. Nesta situação vamos ter 205 *work items* a entrar no sistema e são realizados 41 trabalhos completos, o que faz com que seja cumprida a restrição. Esta comparação pode ser observada na Figura 48. É ainda necessário garantir que à saída da atividade e que por cada trabalho saem 5 *work items*, como é possível comprovar com o recurso à Figura 49 que garante que a quantidade que entra na fila espera antes da atividade PósCura é igual à fila de espera que aparece após a mesma.

PósCura da Pedra		Queue for PósCura da Pedra	
Number of work items:	<input checked="" type="checkbox"/> OK	Number of work items in this storage:	<input checked="" type="checkbox"/> OK
Currently in Activity:	0	Currently:	0
Minimum:	0,00	Minimum:	0,00
Average:	0,70	Average:	0,06
Maximum:	1,00	Maximum:	5,00
Completed Jobs:	41	Total Entered:	205

Figura 48 – Resultados associados à PósCura da Pedra

Queue for Retirar do Forno (2)	
Number of work items in this storage:	<input checked="" type="checkbox"/> OK
Currently:	0
Minimum:	0,00
Average:	0,02
Maximum:	5,00
Total Entered:	205

Figura 49 – Resultados da Fila de Espera Retirar da Prensa (2)

Atividades fictícias

Nesta simulação existem 3 atividades fictícias, todas elas têm como objetivo garantir que antes de ocorrer uma determinada atividade todas as Pedras chegaram à fila de espera anterior. Para certificar que as atividades estão a cumprir o objetivo, para que foram criadas, será necessário comparar o número de *work items*, que entram na fila de espera, que aparece de seguida com o número de trabalhos completos da atividade fictícia. Caso a divisão entre os dois dados referenciados anteriormente dê 5 significa que tudo está correto. As imagens e as respetivas divisões encontram-se no Anexo F.

Atividade Refiar a Pedra

Esta atividade consiste na divisão da pedra em duas, ou seja, que existe a necessidade de garantir a duplicação dos *work items*. Para avaliar o bom funcionamento, comparou-se a quantidade de trabalhos completos realizados pela atividade e a quantidade de *work items* que

passaram na fila de espera que aparece de seguida. Após a comparação conclui-se que existem 202 trabalhos completos e que passam na fila de espera 404 *work items*, logo a atividade está a correr de acordo com o efeito pretendido. Estas comparações podem ser observadas na Figura 50.

Queue for Transporte para PA		OK	Refiar a Pedra		OK
Number of work items in this storage:			Number of work items:		
Currently:	3		Currently in Activity:	0	
Minimum:	0.00		Minimum:	0.00	
Average:	1.88		Average:	0.60	
Maximum:	12.00		Maximum:	1.00	
Total Entered:	404		Completed Jobs:	202	

Figura 50 – Resultados associados à atividade Refiar a Pedra

Validação do modelo de simulação:

Depois de efetuada a verificação do modelo e de garantido o sucesso da implementação dos diversos processos, é essencial validá-lo. Esta etapa tem como objetivo avaliar se os resultados do modelo de simulação desenvolvido se encontram enquadrados na realidade. É ainda necessário verificar se existe algum congestionamento ao longo do modelo.

Nesta seção existe ainda a fase de estabilização do sistema, em que se define o tempo de *warm up*, a simulação e o número de *runs* (número de vezes que o modelo é executado) a considerar.

No desenrolar da verificação, o modelo de simulação já se encontra implementado e com os dados, anteriormente recolhidos, devidamente inseridos. Tal como referido anteriormente o presente estudo de caso foca-se na análise das condições iniciais e de possíveis *bottlenecks* que estejam a minimizar a produção da linha. Para garantir os objetivos, foi necessário conferir se não existia nenhum recurso que não estivesse a ser utilizado e se, em alguma das atividades, existia algum erro que criasse um “falso” *Bottleneck*.

Para a validação da quantidade produtiva pretendida para a empresa no modelo piloto foi definido um tempo de simulação de 11 meses.

Quando analisado o *TimeView* convém repara que as atividades estão a ocorrer sequencialmente, durante o processo de laminagem 1, sem que exista a realização de uma atividade anterior como pode ser observado na Figura 51. Tudo isto se repete na segunda laminagem, Figura 52.

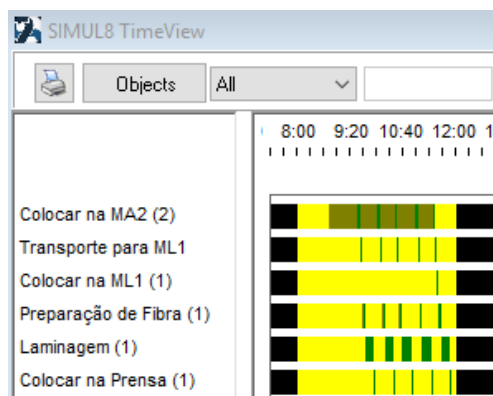


Figura 51 – *TimeView* da primeira laminagem

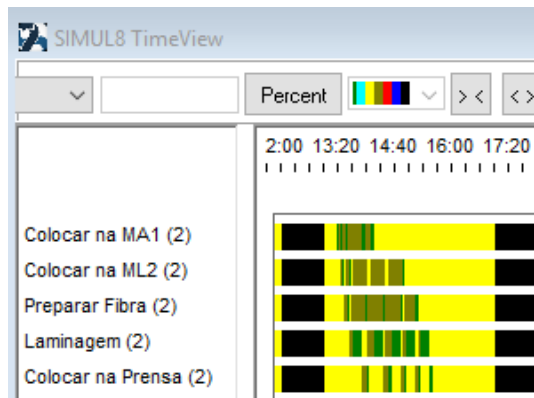


Figura 52 – *TimeView* da segunda laminagem

O agrupamento das pedras nas atividades fictícias e a sua libertação após a realização das mesmas, está correto tal como se tinha observado durante a verificação. A validação desta etapa garante que as pedras são todas armazenadas nos buffers, tal como é exigido pela empresa.

No que toca às atividades associadas ao forno, existe a necessidade de garantir que o mesmo só as executa, caso esteja cheio (5 pedras). Durante a verificação realizou-se a análise e concluiu-se que tal ocorria corretamente. Como pode ser observado, a condição mantém-se, visto que, a quantidade de trabalhos completos é um quinto da quantidade pedras que entra no sistema, tanto na secagem como também na pós-cura (Figura 45 e Figura 48). Outra preocupação associada a estas duas atividades é que a quantidade que entra tem de ser igual à que sai, e tal pode ser observado, comparando as filas de espera que existem antes e depois das atividades, resultado já apresentado anteriormente durante a verificação.

O último ponto fulcral é garantir que os níveis de produção anuais são cumpridos, para tal é necessário avaliar a quantidade de matéria que sai do sistema e ver se atinge os valores apresentados durante a recolha de dados relevantes ao modelo. Esta conclusão é tirada com recurso a uma análise dos resultados associados ao *Finish Point*, Figura 53. Como o valor que a empresa pretende obter é de 2200 painéis e o valor anual que aparece como resultado de saída na simulação é de 2202, o objetivo está a ser cumprido.

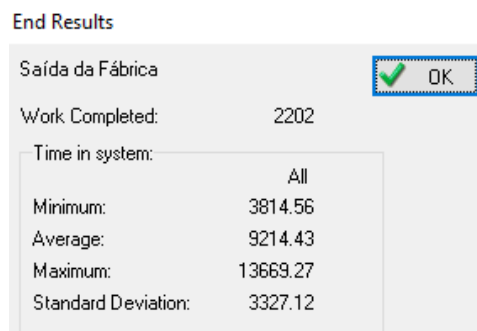


Figura 53 – Resultados associados ao *Finish Point*

Foi também possível concluir que o modelo de simulação desenvolvido em Simul8, em termos qualitativos, as filas de espera entre atividades que devem ocorrer em sequência estão corretas,

tal como se pode constatar no *Timeview* da simulação. No que toca à Secagem da Pedra e a Pós-cura da Pedra ocorrem segundo os princípios definidos.

Apesar da validação do modelo existe uma ou outra fila de espera em que existe um pequeno tempo de espera associado às limitações do modelo, que não se podem colmatar. Apesar deste erro as atividades cumprem a sequencia pretendida. Como foi referido anteriormente, estando apenas associado à existência de recursos que estão alocados a uma grande diversidade de atividades existentes no modelo.

Warm up / Tempo de simulação

O recurso a um *warm up* no modelo de simulação tem como objetivo ultrapassar as inconsistências nos resultados devido à instabilidade do modelo.

No modelo desenvolvido não existe essa necessidade visto, que se criaram três pontos de *stock* intermédio que garantem a fluência do sistema. Em todo o caso, a colocação do *warm up* para este modelo em questão, seria no máximo uma semana, para que fossem garantida as quantidades de inventário nos postos intermédios, em que existia a necessidade de ter *work items* ao início da simulação.

No que toca ao tempo de simulação definiu-se 11 meses, o que, na realidade, da empresa, corresponde a um ano de trabalho. Optou-se por este tempo visto que a informação mais importante aquando da análise de resultados será o valor de produção anual.

Número de runs

Para testar uma determinada solução é necessário realizar uma experiência com vários *runs*, recorrendo a uma série de números pseudoaleatórios e independentes entre si, com o objetivo de assegurar resultados com intervalos de confiança mais estreitos.

O cálculo do número recomendado de *runs* é feito com o recurso a uma ferramenta disponibilizada pelo Simull8, *Trial Calculator*.

Mas para que possa ser possível realizar este cálculo é primeiramente necessário, definir as medidas de desempenho que se pretendem ter em conta, aquando da análise de resultados. É ainda necessário definir um intervalo de confiança que tenha em conta a variabilidade do modelo.

No que toca aos indicadores de desempenho estes podem dividir-se em três categorias:

O primeiro consiste no estudo das taxas de utilização dos recursos. Esse não vai ser feito a todos os que existem, mas sim naqueles em que pode haver variação na quantidade, aquando da aplicação no sistema real. Existe esta redução de recursos, porque no caso da prensa, forno, ponte rolante, máquina de refiar e mesas de laminação, estes são indispensáveis para que se possa realizar o processo produtivo.

O segundo está associado à análise dos tempos de espera nos processos mais críticos. Entre eles tem-se: o tempo de espera das pedras no armazém logo à chegada, antes de aplicar pressão nas mesmas, o produto aquando da passagem para a atividade refiar a pedra e os tempos nos buffers após a secagem e antes da pós-cura. O intuito da análise destes indicadores

tem como objetivo de minimizar os tempos de espera das pedras nos *Buffers*, para que seja possível garantir o mínimo de stock de produto em vias de fabrico.

O terceiro e último é o estudo das quantidades de entrada de pedra e saída do produto final, este mais com o intuito de controlo de produção, para que seja possível garantir que se está a produzir a quantidade que se pretende. Neste subcapítulo aparece ainda o tempo médio que o produto permanece no sistema.

Pode então fazer-se a lista dos indicadores de desempenho que se pretende analisar:

- Taxa de utilização do colaborador.
- Taxa de utilização da MA1.
- Taxa de utilização da MA2.
- Tempo médio de espera na fila que antecede o transporte para o forno (1).
- Tempo médio de espera na fila que precede a atividade de retirar do forno (1).
- Tempo médio de espera que antecede a colocação na prensa (1).
- Tempo médio de espera que antecede a colocação na prensa (2).
- Tempo médio de espera que antecede o colocar no forno (2).
- Tempo médio de espera que antecede a colocação no PS.
- Tempo de espera que antecede a atividade de refiar a pedra.
- Número de *work items* que entram no sistema.
- Número de *work items* que saem do sistema.
- Tempo médio que cada *work item* está no sistema.

Após a tomada de decisão relativa aos indicadores de desempenho essenciais ao projeto, será necessário inseri-los no *Trial Calculator*, definindo ainda o intervalo de confiança de 10%. Estes dados podem ser observados na Figura 54.

Trial Calculator

The Trials Calculator recommends a number of runs to use for trials.
The recommendation is based on your required precision of the confidence limits around the estimate of the mean for your simulation results (KPIs)

Required precision: % of the mean. Your selected (95%) confidence limits will each be within this % of the estimate of the mean.

KPIs to meet required precision

- Colaborador: Utilization %
- MA1: Utilization %
- MA2: Utilization %
- Queue for Transporte para o Forno (1): Average Queuing Time
- Queue for Colocar na MA2 (1): Average Queuing Time
- Queue for Colocar na Prensa (1): Average Queuing Time
- Queue for Colocar na Prensa (2): Average Queuing Time
- Queue for Colocar no Forno (2): Average Queuing Time
- Queue for Transporte para o PS: Average Queuing Time
- Queue for Refiar a Pedra: Average Queuing Time
- Start Point 1: Number Entered
- Saída da Fábrica: Number Completed

Highlight the KPI you want graphed first during the calculation

Figura 54 – Dados colocados no *Trial Calculator*

A análise dos resultados permite concluir que o tempo médio de espera que antecede a atividade refiar a pedra é a medida de desempenho que tem mais variabilidade, face ao elevado número de runs recomendados, ou seja, que é de 41 o número de runs recomendados para o modelo de simulação.

KPI	Recommended Runs
(Recommended runs for 10% precision)	
Colaborador: Utilization %	4
MA1: Utilization %	4
MA2: Utilization %	4
Queue for Transporte para o Forno (1): Average Queuing Time	4
Queue for Colocar na MA2 (1): Average Queuing Time	4
Queue for Colocar na Prensa (1): Average Queuing Time	7
Queue for Colocar na Prensa (2): Average Queuing Time	4
Queue for Colocar no Forno (2): Average Queuing Time	8
Queue for Transporte para o PS: Average Queuing Time	4
Queue for Refiar a Pedra: Average Queuing Time	41
Start Point 1: Number Entered	4
Saída da Fábrica: Number Completed	4
Saída da Fábrica: Average Time in System	4

Figura 55 – Indicadores de desempenho do modelo de simulação

5.7. Conclusão do capítulo

O modelo de simulação desenvolvido tem como objetivo tirar as conclusões necessárias para que seja possível transpor para o mundo real o desenvolvimento teórico sob estudo.

Como ferramenta de apoio foi utilizado um fluxograma desenvolvido por Banks *et al.* (2005). Este fluxograma tem descritas as diversas etapas por onde é necessário passar até chegar a implementação do modelo em ambiente real.

Após a descrição do diagrama foram desenvolvidas todas as etapas, mas desta vez associadas ao estudo de caso. Foram então desenvolvidas as etapas desde a formulação do problema, passando pela implementação do modelo no *software* até à verificação e validação do mesmo.

Durante a implementação destas etapas é importante referir que as entidades consideradas relevantes ao sistema foram as seguintes: Forno, Secador, Mesa de Apoio, Prensa, Mesa de Laminação e Colaborador. Todas elas são entidades permanentes, existindo, no entanto, uma temporária que é a Pedra. Desenvolveram-se ainda os DCV's e o DCA associados às entidades, que de seguida, foram aplicados no simul8, juntamente com os dados essenciais para o desenvolvimento do modelo. Finalizado o modelo executou-se a verificação e a validação do mesmo.

Com a implementação apresentada é necessário fazer-se a análise dos resultados a fim de atingir os objetivos estipulados para esta dissertação. Em seguida será então desenvolvido uma serie de cenários e comparações que permitiram perceber como é possível atingir a capacidade pretendida pela empresa e posteriormente, como otimizá-la.

6. Análise e discussão de resultados

Nesta secção são apresentados os resultados obtidos após realizar algumas análises ao modelo de simulação. O recurso à análise de sensibilidade nesta secção é uma ferramenta interessante na medida em que é possível alterar os *inputs* do modelo, de forma a ver o seu efeito no *output*.

Primeiramente foi desenvolvida uma análise que tinha como objetivo tentar reduzir o número de colaboradores, mas rapidamente se percebeu que seria impossível. Esta impossibilidade deve-se à existência de processos, em que por segurança e rapidez de execução, há necessidade de dois colaboradores, sendo sempre imprescindível um terceiro para que este possa estar a controlar o processo de refiar.

Como o objetivo da empresa é conseguir minimizar os custos de produção, e como o número de recursos já não pode ser reduzido, optou-se por outra estratégia. Esta consistiu na modificação da capacidade produtiva das máquinas que provocam o *bottleneck*, mais concretamente o forno, visto que este foi idealizado para produzir apenas grupos de 5 pedras.

Esta alteração consistiu no aumento da sua capacidade, ou seja, testou-se a possibilidade de o forno executar a secagem e a pós-cura a um maior grupo de pedras por cada utilização. Existiu ainda a necessidade de fazer alterações a outros *inputs* que estavam associados à capacidade de produtiva do forno.

Em suma, os *inputs* que serão necessários modificar estão associados à secagem e pós-cura da pedra, à quantidade de MP que chega por semana, aos *start-ups* que existem em algumas filas de espera e às três atividades fictícias que foram criadas para garantir exigência de processo. Na Figura 56 pode-se encontrar assinaladas as atividades ou filas de espera em que é necessário modificar os inputs.

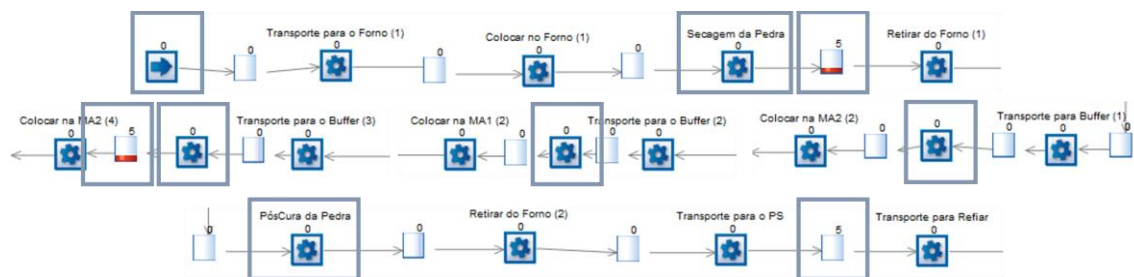


Figura 56 – Atividades e filas de espera que variam com as mudanças de cenário

Para além da capacidade produtiva do *bottleneck* optou-se, por testar a possibilidade de aumentar um colaborador com o objetivo de avaliar as variações de capacidade produtiva associada à linha de produção em estudo. Procurou-se ainda estudar as atividades que iriam passar a ser os futuros *bottlenecks*, caso a empresa pretenda aumentar a capacidade do forno. Desenvolveu-se então uma série de cenários que estão descritos na Tabela 9.

Tabela 9 – Parâmetros em análise em cada cenário

Parâmetros	Cenário 1	Cenário 2	Cenário 3	Cenário 4	Cenário 5
Nº de espaços no forno	6	6	7	7	8
Nº de trabalhadores	3	4	3	4	4
Quantidade de MP/ano	1320	1320	1540	1540	1760

É importante referir que só se testaram os 8 espaços no forno com 4 colaboradores, porque o número de repetição de processos e de fluxos começa a ser tão grande que exigiria que existisse um colaborador que estivesse sempre alocado aos transportes da pedra dentro da fábrica.

Todos estes cenários serão comparados com os valores que o modelo de simulação base, cenário 0. Os valores a controlar são: a quantidade de *work items* que ficam dentro do sistema, a quantidade de produto final que sai do sistema, a quantidade de MP por ano (11 meses) que entra no sistema e, por último, a taxa de utilização do recurso colaborador. A Tabela 10 apresenta os valores de controlo do cenário 0.

Tabela 10 – Valores de controlo do Cenário 0

Valores de Controlo - Cenário 0	
Nº de espaços no forno	5
Nº de trabalhadores	3
Quantidade de MP/ano	1100
Quantidade de <i>work items</i> que começam no sistema	15
Quantidade de <i>work items</i> que ficam no sistema	15
Taxa de utilização dos colaboradores (%)	18,31
Quantidade média de produto final	2199,83
Tempo médio no sistema (min)	10194,12
Tempo médio no sistema (horas)	170
Tempo médio no sistema (dias)	7

Neste cenário, a quantidade que entra no sistema é praticamente igual à quantidade que sai e como a quantidade de *work items* que iniciam é igual à que existe quando a simulação termina, isto significa que o sistema está a conseguir libertar a quantidade total de MP que adquire. Ou seja, podemos concluir que, no final de um ano de produção, não houve acumulação de *stock*, de MP e de produtos em vias de fabrico (PVF).

De seguida serão apresentados os resultados e a respetiva análise dos vários cenários enunciados anteriormente, e é ainda, executada uma breve análise comparativa entre eles.

6.1. Cenário 1: Análise produtiva com 3 colaboradores e 6 pedras/dia

Neste cenário irá subir a capacidade produtiva do forno numa pedra, mas mantém-se a quantidade de três colaboradores. Com o incremento imposto no modelo é necessário modificar os restantes *inputs* associados ao mesmo, passando todos eles para 6 em vez de 5. Outro ponto

essencial para que o aumento realizado mantenha as exigências da empresa no que toca à produção, mais concretamente realizar uma secagem de pedras durante a noite e uma pós-cura durante o dia, existiu a necessidade de aumentar a entrada de *work items* no *start point* de 25 para 30. Na Tabela 11, pode encontrar-se os valores retirados do modelo que serão importantes para análise comparativa futura.

Tabela 11 – Valores de controlo do Cenário 1

Valores de Controlo - Cenário 1	
Nº de espaços no forno	6
Nº de trabalhadores	3
Quantidade de MP/ano	1320
Quantidade de <i>work items</i> que começam no sistema	18
Quantidade de <i>work items</i> que ficam no sistema	37
Taxa de utilização dos colaboradores (%)	21,69
Quantidade média de produto final	2598,25
Tempo médio no sistema (min)	15960,61
Tempo médio no sistema (horas)	266
Tempo médio no sistema (dias)	11

No cenário 1 a quantidade de MP que entra no sistema não é proporcional à que sai, tal como, pode ser observado na comparação entre a quantidade de *work items* que começam e os que ficam do sistema, o que significa que vai existir uma série de PVF. Este entrave acaba por ser uma falha neste cenário. Em relação aos restantes fatores de controlo não se verificaram alterações relevantes.

6.2. Cenário 2: Análise produtiva com 4 colaboradores e 6 pedras/dia

No segundo cenário mantém-se a as características do primeiro, associadas à capacidade produtiva do forno, apenas ocorrendo a alteração da quantidade de colaboradores alocados à linha de fabrico. É importante avaliar a variação do número de recursos, pois o aumento de um colaborador pode aumentar a capacidade produtiva da linha. Na Tabela 12 pode-se encontrar os dados associados a este cenário que foram retirados do modelo de simulação.

Tabela 12 – Valores de controlo do Cenário 2

Valores de Controlo - Cenário 2	
Nº de espaços no forno	6
Nº de trabalhadores	4
Quantidade de MP/ano	1320
Quantidade de <i>work items</i> que começam no sistema	18
Quantidade de <i>work items</i> que ficam no sistema	27
Taxa de utilização dos colaboradores (%)	16,38
Quantidade média de produto final	2625,5
Tempo médio no sistema (min)	12047,28
Tempo médio no sistema (horas)	201
Tempo médio no sistema (dias)	8

Neste caso a quantidade de MP que entra no sistema não é proporcional à que sai, tal como, pode ser observado na comparação entre a quantidade de *work items* que começam e os que ficam do sistema, o que significa que vai existir uma série de PVF. Este entrave acaba por ser uma falha neste cenário, mas com o aumento do número de colaboradores garante-se que o número de PVF foi reduzido. Em relação aos restantes fatores de controlo não se verificaram alterações relevantes.

6.3. Cenário 3: Análise produtiva com 3 colaboradores e 7 pedras/dia

Após ter aumentado o número de trabalhadores e a capacidade do forno, volta-se a aumentar a capacidade do forno, passando agora para 7 em vez de 6 espaços para colocar pedras, mas volta-se a ter apenas 3 colaboradores. Isto leva a que, para além de aumentar o número de elementos por cada atividade de secagem e pós-cura realizada, é novamente necessário alterar todos os *inputs* tal como foi realizado aquando da preparação do cenário 1. É também importante aumentar o número de peças que entram no sistema por semana. Na Tabela 12 podemos encontrar os dados associados a este cenário que foram retirados do modelo de simulação.

Tabela 13 - Valores de controlo do Cenário 3

Valores de Controlo - Cenário 3	
Nº de espaços no forno	7
Nº de trabalhadores	3
Quantidade de MP/ano	1540
Quantidade de <i>work items</i> que começam no sistema	21
Quantidade de <i>work items</i> que ficam no sistema	52
Taxa de utilização dos colaboradores (%)	22,31
Quantidade média de produto final	2669,25
Tempo médio no sistema (min)	41977,3
Tempo médio no sistema (horas)	700
Tempo médio no sistema (dias)	29

Assim volta a existir uma quantidade de *work items* que ficam no sistema, ou seja a existência de PVF. Para além dos PVF, existe ainda um conjunto de produtos que ficaram em *stock* de MP, em média 185,75, ou seja, existem *work items* que nem sequer começam a ser produzidos. Devido às conclusões tiradas deste cenário pode-se concluir que, caso a empresa pretenda manter os três funcionários só precisa de ter capacidade no forno para 6 pedras (cenário 1). A nível dos restantes valores analisados, é importante referir ainda que o tempo médio dos *work items* no sistema é de 26 dias, valor considerado muito elevado.

6.4. Cenário 4: Análise produtiva com 4 colaboradores e 7 pedras/dia

No cenário 4 manteve-se a capacidade produtiva do forno existente no cenário 3, aumentando-se apenas o número de colaboradores. Tal como acontece no cenário anterior, concluiu-se que a produção pretendida já não era possível de atingir, sendo importante perceber se com o aumento de um colaborador já se torna possível aumentar a produção. Na Tabela 14 pode-se encontrar os dados associados a este cenário que foram retirados do modelo de simulação.

Tabela 14 – Valores de controlo do Cenário 4

Valores de Controlo - Cenário 4	
Nº de espaços no forno	7
Nº de trabalhadores	4
Quantidade de MP/ano	1540
Quantidade de <i>work items</i> que começam no sistema	21
Quantidade de <i>work items</i> que ficam no sistema	63
Taxa de utilização dos colaboradores (%)	18,9
Quantidade média de produto final	3002,75
Tempo médio no sistema (min)	17311,88
Tempo médio no sistema (horas)	289
Tempo médio no sistema (dias)	12

Neste cenário já foi possível atingir níveis de produção, não atingíveis com o terceiro. Apesar desta melhoria, ainda existe uma grande quantidade de PVF, o que faz com que o modelo ainda não seja perfeito, significando que a quantidade de colaboradores possa já não ser o *bottleneck*, mas para o garantir seja necessário fazer uma nova análise com uma maior capacidade produtiva do forno. Em relação aos restantes indicadores estão dentro dos valores dos outros cenários.

6.5. Cenário 5: Análise produtiva com 4 colaboradores e 8 pedras/dia

Seguindo as conclusões extraídas no cenário 4, iremos desenvolver um novo teste. Assim, aumentar-se-á a capacidade produtiva do forno, tanto na secagem como na pós-cura e ainda todos os inputs que estão associados ao aumento da mesma. Será ainda necessário aumentar a capacidade de chegada de MP, passando o *batching* para 40 peças semanais. Na Tabela 15, pode-se encontrar os dados associados a este cenário que foram retirados do modelo.

Tabela 15 – Valores de controlo do Cenário 5

Valores de Controlo - Cenário 5	
Nº de espaços no forno	8
Nº de trabalhadores	4
Quantidade de MP/ano	1760
Quantidade de <i>work items</i> que começam no sistema	24
Quantidade de <i>work items</i> que ficam no sistema	293
Taxa de utilização dos colaboradores (%)	19,62
Quantidade média de produto final	2966
Tempo médio no sistema (min)	47216,24
Tempo médio no sistema (horas)	787
Tempo médio no sistema (dias)	33

Tal como referido no anterior cenário, o principal objetivo seria perceber, se com os 4 colaboradores, se conseguia aumentar ainda mais a produção. Com a análise dos dados da Tabela 15, pode-se concluir que a capacidade máxima da linha atual é de cerca de 3000 placas.

É ainda possível retirar deste cenário, que, a partir das 7 placas produzidas por dia, o *bottleneck* da linha passa a ser a prensa em vez do número de colaboradores. Esta conclusão pode ser observada na Figura 57, ou seja, se se analisar a fila de espera que antecede a atividade colocar na prensa (1) depara-se com 266 *work items* em espera (exemplo de uma *run* corrida no sistema). Na Figura 58 é possível visualizar que o tempo médio de espera na fila que antecede a atividade colocar na prensa (1) é extremamente elevado, em comparação com os tempos médios totais de um *work item*, nos restantes cenários.

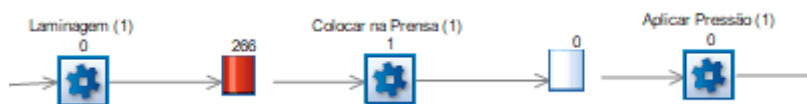


Figura 57 – Fila de espera do Colocar na Prensa (1)

		Low 95% Range	Average Result	High 95% Range
Queue for Colocar na Prensa (1)	Average Queuing Time	32488.19	33150.51	33812.83
Queue for Colocar na Prensa (1)	Average Queuing Time	27.79	30.74	33.69

Figura 58 – Análise dos resultados das filas de espera da prensa

Em suma conclui-se que este cenário é o último que se pode realizar, tendo em conta apenas as conjugações propostas no início da análise.

6.6. Comparação entre os cenários

Neste subtópico desenvolver-se-á uma comparação entre os vários cenários simulados:

- Análise 1: Comparação do cenário 1 com o 2 e o 3 com o 4, com o objetivo de perceber até que ponto é vantajoso alocar o 4 trabalhador, sendo posteriormente comparados com o modelo inicial (cenário 0).
- Análise 2: Comparação que permite a avaliação das taxas de produção por entrada de MP.
- Análise 3: Fazer um breve historial acerca da evolução dos *bottlenecks* do sistema.

Análise 1

Relativamente ao primeiro método de comparação, tal como já foi referido na enumeração das comparações, o objetivo é interpretar a importância ou não dos 4 colaboradores na linha. Isto é, torna-se importante para a empresa perceber até que ponto a capacidade produtiva pode chegar com 3 trabalhadores.

Para chegar aos dados finais que a empresa precisa, vai desenvolver-se primeiramente a comparação entre os cenários 1 e 2 e o 3 e 4. O motivo de não entrar na comparação o cenário 0 é porque sabe-se que para o caso de 5 placas, os três trabalhadores realizam o trabalho perfeitamente, sem existirem quaisquer *bottlenecks*. Já a não utilização do último cenário deve-se à existência de apenas de 1 estudo para a capacidade produtiva de 8 pedras. Neste caso, com 4 colaboradores, e percebeu-se aquando da realização do teste que o *bottleneck* já não condiz com o número de trabalhadores.

Comparação do cenário 1 com o 2

No que toca à comparação entre o cenário 1 e o 2, é importante analisar 4 fatores distintos. O primeiro, que é sem dúvida o mais importante, é a capacidade produtiva, nesta situação a diferença em média é cerca de 27 placas por ano, o que equivale a 1% em percentagem de

crescimento produtivo. Ou seja, para o aumento em questão não tem qualquer vantagem aumentar os custos fixos de uma produção com a contratação de mais um colaborador.

O segundo ponto a analisar é a existência de PVF. Pode-se então concluir que em ambos os casos, vai existir PVF, que vão ficar na linha ao final de um ano de produção. Fazendo esta análise com a empresa conclui-se que a diferença de 10 pedras em PVF não é relevante.

O terceiro fator em análise é o tempo que uma peça de Stork® demora a sair do sistema. No caso dos 3 colaboradores demora 11 dias, e no de 4 demora 8 dias. Este fator já pode vir a ser determinante para o ganho ou não de um projeto, caso o tempo que se tem para fazer a entrega do produto seja curto.

E por último, tem-se a taxa de utilização dos recursos, em que se constatou que com 4 colaboradores existe um decréscimo de 25%, valor este que é muito elevado e que a empresa não se sente muito confortável em o tê-lo.

Com a comparação destes dois cenários, conclui-se que a melhor opção é o cenário 1, porque a empresa não considera que seja vantajosa economicamente a contratação de mais 1 funcionário para o aumento de 1% em produção, ainda mais quando existe um decréscimo de 25% da utilização deste recurso.

Comparação do cenário 3 com o 4

Para esta comparação os fatores a analisar serão os mesmos 4 que se constaram na apresentada anteriormente. Tal como referido, o primeiro fator é de longe o mais importante. Ao analisar os resultados deparamo-nos com um aumento em 12% da capacidade produtiva, caso exista a contratação de mais um colaborador. Nesta situação, a empresa já considera ser vantajoso o acréscimo dos custos fixos, devido à contratação de um 1 novo trabalhador, visto que o aumento produtivo já é significativo.

No segundo caso existe um pequeno aumento de PVF do cenário 3 para o 4, mas no 3 existe um acumular de matéria-prima que não está contabilizado na quantidade PVF. Deste modo a empresa considera que caso mantenha os 3 colaboradores pode voltar aos valores do cenário 1, porque a quantidade de produto final do 1 é idêntica à do 3.

O outro fator analisado na comparação 1 é o tempo médio que uma peça demora a sair do sistema, e ao comparar-se os dois cenários conclui-se que o 4 é muito mais vantajoso, visto que demora, em média cerca de menos 15 dias a entregar uma peça.

Por último, tem-se a taxa de utilização do recurso colaborador, que, em ambos os casos ronda os 19%.

Após a análise dos 4 fatores pode-se concluir que o cenário 4 é sem dúvida, o mais vantajoso para a empresa.

Conclusão da primeira análise e comparação com o cenário 0

Após as conclusões extraídas das duas comparações pode-se concluir que a utilização de três colaboradores é vantajosa até à produção de 6 placas diárias. No caso que se queira produzir 7 ou mais, já será necessário no mínimo 4 colaboradores. É essencial referir que a partir de 8

placas diárias é uma grande incógnita, porque o *bottleneck* deixou de ser o número de colaboradores, mas começou a ser a prensa.

Com a análise dos 5 cenários completa, pode-se então fazer uma breve comparação com o modelo de simulação desenvolvido inicialmente. Desse modo ao comparar-se o cenário 0 com o 1, pode-se concluir que é mais vantajoso para a empresa utilizar o 1, porque sem aumentar os custos fixos de produção associados à contratação de um novo colaborador, pode-se incrementar a produção anual em cerca de 18%.

Se a empresa pretender aumentar a produção, já é necessário o aumento de 1 colaborador, o cenário que melhor retrata a situação é o 4. Neste caso e tendo em conta apenas os dados já analisados, um incremento em mais de 15% na capacidade produtiva pode ser vantajoso para a empresa a contratação necessária, se a empresa achar que pode ser uma mais valia não só nas atividades diretas da linha, bem como nos processos indiretos (armazenagem, empacotamento, preparação de matérias primas, entre outras atividades).

Análise 2

Durante esta análise desenvolver-se-á um quadro comparativo do rendimento da linha, isto é, irá calcular-se qual é a percentagem de matéria-prima que não é produzida. Para que seja possível desenvolver este estudo, será essencial ir aos 6 cenários desenvolvidos e retirar 4 dados essenciais para este cálculo: a quantidade de PVF no início da simulação e no fim da mesma, a quantidade de *work items* que entra no sistema e a que sai. É importante referir, que existe uma etapa no processo produtivo que consiste na divisão dos *work items* em dois, ou seja, será necessário dividir a quantidade final por 2.

Optou-se por se fazer a comparação em percentagem, porque os cenários têm diferentes quantidades de entrada, ou seja, a comparação direta dos valores de saída não estaria a ter em conta esta variável.

Corridos os 6 cenários, e agruparam-se os dados essenciais ao estudo, na Tabela 16. E a equação utilizada para calcular a percentagem associada à análise pretendida encontra-se na Equação 2.

Tabela 16 – Dados de apoio à Análise 2

	Cenário 0	Cenário 1	Cenário 2	Cenário 3	Cenário 4	Cenário 5
Quantidade de MP/ano	1100	1320	1320	1540	1540	1760
Quantidade de <i>work items</i> que começam no sistema	15	18	18	21	21	24
Quantidade de <i>work items</i> que ficam no sistema	15	37	27	52	63	293
Varição da quantidade de PFV no sistema	0	19	9	31	42	269
1/2 Quantidade média de produto final	1100	1299	1313	1335	1501	1483
Rendimento da linha	99,99	98,42	99,45	86,66	97,49	84,26

$$\text{Rendimento da linha} = \frac{\frac{1}{2} \text{Quantidade média de produto final/ano}}{\text{Quantidade de MP/ano}} \times 100 \quad (2)$$

Ao analisar-se o rendimento da linha nos vários cenários, é possível organizar os resultados em dois grupos distintos, o primeiro para os valores que rodam os 99% e um segundo em que os valores estão a baixo dos 87%.

No que toca ao primeiro grupo, encontram-se os cenários 0, 1, 2 e 4. Ao comparar-se o cenário 0 com o 1 chega-se à conclusão que a linha numa fase inicial está subdimensionada, porque é possível aumentar a sua capacidade produtiva, através do aumento de espaços no forno, afetando o seu rendimento em apenas 1,5 %.

Caso a empresa pretenda recuperar o rendimento perdido da transição do 1 para o 2 pode aumentar-se em um colaborador os recursos da linha, ou seja, passa-se a ter o cenário 3. Mas este aumento no rendimento não é vantajoso, porque exige um aumento dos custos fixos da empresa.

Se a empresa considerar importante um aumento de produção devido ao incremento na procura pelo produto, torna-se vantajoso a transição para o cenário 4, mesmo perdendo em comparação com o modelo inicial da linha 2,5% do rendimento. É ainda importante referir que existe a necessidade de investir em mais um colaborador para que possam ser atingidos os valores de produção pretendidos. A transição para o cenário 4 traz um aumento produtivo de cerca de 35%, o que faz com que os custos produtivos também tenham de aumentar. É importante referir que esta situação é caso a empresa faça a transição direta do cenário 0 para o 4, pois se ela preferir fazer um passo intermédio que consiste apenas no incremento produtivo, cenário 2, a variação produtiva é apenas de 15%.

Apesar de todo este estudo estar apenas à volta do número de colaboradores, não se pode deixar de ter em conta que a capacidade produtiva do forno é que vai delimitar a produção, sendo assim é essencial que a empresa adquira um forno que tenha uma capacidade acima de dos valores estudados, por exemplo com capacidade para 10 placas por lote.

Análise 3

Nesta terceira análise procura-se perceber qual é a evolução fabril que a empresa necessita de executar para que possa ocorrer o aumento de produção. Para tal é importante estudar a evolução dos *bottlenecks* do sistema com o aumento da produção.

O primeiro *bottleneck* na produção é a capacidade produtiva do forno, visto que este foi idealizado primeiramente para que estivesse a trabalhar sempre na capacidade máxima, ou seja, que se os valores de produção dia previstos eram 5 placas a capacidade do forno era 5 placas.

Face ao exposto e após as análises desenvolvidas anteriormente, 1 e 2, pode-se concluir que para a eliminação deste *bottleneck* o ideal seria desenvolver um forno que permitisse uma capacidade produtiva de 10 placas dia, caso a empresa necessitasse de aumentar em grande escala a produção inicial. Este incremento traria à empresa a possibilidade de trabalhar em dois turnos, visto que tendo 10 espaços no forno, seria possível secar 10 pedras de uma vez que permitiria alimentar os turnos do dia, uma vez que o processo de pós-cura seria feito na mesma com 5 pedras de cada vez.

Tendo a questão do forno resolvida, a evolução dos cenários colocou outro *bottleneck* que seria necessário resolver, está-se a falar da questão do número dos colaboradores, porque se a empresa pretendesse produzir 7 placas dia a 1 turno com apenas 3 colaboradores não o iria conseguir, tal como foi observado no cenário 3. Caso a empresa pretenda aumentar a produção da linha vai ser obrigada a investir em mais um colaborador, para que este recurso deixe de ser um *bottleneck*, pelo menos até à produção de 8 placas dia por turno.

O último *bottleneck* com que esta investigação se deparou foi a questão da prensa, em que se deparou com um *bottleneck* a partir da produção de 8 placas dia por turno. Este *bottleneck* deve-se muito à necessidade do mesmo recurso ser executado em duas etapas distintas no processo. Para a resolução deste *bottleneck* seria interessante que a empresa pensasse na possibilidade de adquirir uma nova prensa, já que esta aquisição não só traria um investimento monetário bem como a necessidade de alocar mais espaço à área produtiva.

Em suma, existem três *bottlenecks* neste estudo: a capacidade produtiva do forno, o número de colaboradores e a prensa. O primeiro, é sem dúvida, o mais simples de resolver, visto que seria apenas necessário que aquando da compra do forno se tivesse em conta o número de prateleiras, que, segundo a análise, o ideal seria 10. Relativamente ao segundo, pode ser uma situação analisada após o início da produção, isto é, só é viável para a empresa a contratação de mais um colaborador, caso o número de encomendas o justifique. O terceiro e último *bottleneck* a que se chegou com este estudo, é o caso mais crítico, porque a empresa tem de decidir logo de início aquando a montagem da linha, se é vantajoso ou não deixar já um espaço reservado à necessidade de incrementar uma prensa e uma mesa de descarga.

6.7. Conclusão do capítulo

Após a passagem pelas etapas de desenvolvimento e comprovado o modelo, criou-se alguns cenários que pudessem vir a ser vantajosos para a empresa, não só a nível do aumento da capacidade produtiva, que permitisse concluir a forma como este aumento produtivo poderá afetar os *bottlenecks* na linha.

A primeira conclusão a retirar do desenvolvimento e análise dos cenários consiste na definição dos requisitos mínimos para que a empresa consiga atingir a capacidade que pretende. Os recursos mínimos necessários são:

- uma ponte rolante;
- uma prensa;
- uma mesa de refiar;
- duas mesas de apoio;
- duas mesas de laminação;
- um forno com capacidade para 5 placas;
- por último três colaboradores.

Através das três análises efetuadas foi possível definir três otimizações que a empresa pode aplicar de futuro, permitindo assim incrementar a capacidade produtiva da linha. A primeira e, que deve ser feita logo desde início, é o aumento do número de espaços no forno para o dobro. A segunda é o aumento de o número de placas produzidas por dia, passando de cinco para seis, sem que seja necessária a aquisição de um novo colaborador. E por último, existe a possibilidade de se produzir sete placas por dia, mas neste caso já é imprescindível a contratação de mais um funcionário. É ainda importante referir que, caso a empresa pretenda produzir mais de sete placas dia, é essencial repensar o sistema de prensagem da linha.

7. Conclusão da dissertação

A FW foi criada em 2001 como uma das primeiras empresas *spin-off* da IST e desde então tem trabalhado na área da engenharia, consultoria e desenvolvimento de novas tecnologias, focando-se principalmente no sector da pedra natural e seus derivados. Sendo uma empresa que procura a diferenciação, criou um novo produto, o Stork®.

Com os excelentes resultados que este produto mostrou em relação à pedra natural, quer a nível de resistência mecânica, quer de isolamento e incremento da flexibilidade na construção a empresa considerou ser um produto que valeria a pena comercializar. Contudo, mesmo considerando que o processo produtivo estaria definido, foi necessário industrializar o produto, o que implicou, entre outras fases, desenvolver uma nova linha de produção.

Tendo em conta o objetivo principal da FW (industrializar o Stork®), esta dissertação centrou-se no desenvolvimento da linha de produção, o que implicou, a necessidade de realizar especificações, simulações e apresentar propostas de otimização desta primeira linha para o produto Stork®. O desenvolvimento deste tópico tornou possível concluir quais são as quantidades de recursos necessários envolvidos em todos os processos, tendo sido igualmente utilizada para potenciar o dimensionamento de espaços de produção e orçamentos envolvidos em investimentos futuros.

Durante o desenvolvimento do trabalho, foi identificada a simulação de eventos discretos, utilizando o software SIMUL8, como uma ferramenta capaz de auxiliar a análise do presente estudo. Durante a fase de desenvolvimento do modelo de simulação foram várias as dificuldades enfrentadas, com destaque para:

- i) as secções do modelo que simulam as entradas e saídas do forno de secagem e cura;
- ii) bem como a necessidade de satisfazer as exigências da FW nos processos onde existia a necessidade de garantir que todos os *work items* do dia chegassem a uma determinada fila de espera, antes de se realizar a atividade que precedia a mesma.

A decomposição do modelo de simulação em 5 blocos permitiu ajudar tanto na construção como na verificação. Assim, conclui-se que analisando os blocos em separado evita-se a complexidade de análise do modelo como um todo.

É importante referir que como a empresa ainda estava em fase de especificação e implementação final da linha de produção, todos os tempos associados às deslocações de materiais foram estudados em situações similares, na medida em que poderiam existir algumas diferenças em relação aos tempos reais da linha produtiva. Apesar destes possíveis desvios, foi possível retirar uma série de conclusões consideradas como relevantes, as quais se apresentam de seguida.

Com o desenvolvimento da simulação e dos seis cenários foi possível responder à primeira questão apresentada. Essa questão consistia na definição dos recursos mínimos necessários para atingir a capacidade produtiva da linha estipulada pela empresa. Conclui-se então que os recursos necessários são:

- uma ponte rolante;
- uma prensa;
- uma mesa de refiar;
- duas mesas de apoio;
- duas mesas de laminação;
- um forno com capacidade para 5 placas;
- por último três colaboradores.

Após se obter esta primeira resposta, desenvolveu-se uma série de cenários os quais, quando comparados entre si, permitiram concluir que otimizações se poderiam executar na linha de produção com o objetivo de incrementar a capacidade produtiva da mesma:

- um forno com capacidade para cinco placas e por último três colaboradores.
- a primeira ação essencial para que seja possível ocorrer um incremento na produção passa por realizar um investimento num forno com uma capacidade superior à encontrada inicialmente.
- a segunda ação passará pela contratação de mais um colaborador fabril, o que, apesar de tudo, só fará sentido ocorrer caso a empresa procure produzir mais do que 6 placas por dia;
- a terceira ação consiste na aquisição de uma nova prensa, sendo que uma vez se conclui que só existirá a necessidade de o fazer quando a empresa verificar relevante produzir mais do que 7 placas dia.

Tanto na segunda como na terceira ações são *upgrades* da linha que podem ser realizados posteriormente.

Embora tenha sido possível retirar conclusões relevantes no que toca ao modelo de simulação, existem ainda uma série de *inputs*, principalmente temporais, que aquando da implementação real da linha fabril, podem ser melhorados, trazendo desse modo valores ainda mais realistas para a otimização da linha. Para além desta limitação existiu também alguma dificuldade na implementação das exigências da empresa aquando do desenvolvimento do modelo. Mas sem dúvida a mais importante foi a não implementação do sistema real estar desenvolvida antes da entrega da dissertação.

Um dos pontos que pode ser desenvolvido e explorado futuramente é a análise da capacidade da linha para quantidades produtivas superiores a 8 placas por dia, o qual pode servir de arranque para o estudo e desenvolvimento de uma linha de maior dimensão. Isto acontece porque o modelo criado foi desenvolvido de maneira a ser adaptado para uma realidade de maior dimensão, sendo apenas necessário fazer um ajuste dos *inputs* fornecidos ao sistema.

Referências

- Algeddawy, T. and Elmaraghy, H. (2010) 'Design of single assembly line for the delayed differentiation of product variants', *Flexible Services and Manufacturing Journal*, 22(3–4), pp. 163–182.
- Avikal, S., Jain, R., Mishra, P. K. and Yadav, H. C. (2013) 'A heuristic approach for U-shaped assembly line balancing to improve labor productivity', *Computers and Industrial Engineering*, 64(4), pp. 895–901.
- Azzi, A., Battini, D., Faccio, M. and Persona, A. (2012) 'Mixed model assembly system with multiple secondary feeder lines: layout design and balancing procedure for ATO environment', *International Journal of Production Research*, 50(18), pp. 5132–5151.
- Bagher, M., Zandieh, M. and Farsijani, H. (2011) 'Balancing of stochastic U-type assembly lines: An imperialist competitive algorithm', *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 54(1–4), pp. 271–285.
- Banks, J., Carson, J., Nelson, B. L. and Nicol, D. M. (2005) *Discrete-Event System Simulation*. 4ª Edição. USA Edition: Prentice Hall.
- Battaia, O. and Dolgui, A. (2013) 'A taxonomy of line balancing problems and their solution approaches', *International Journal of Production Economics*, 142(2), pp. 259–277.
- Boysen, N., Fliedner, M. and Scholl, A. (2007) 'A classification of assembly line balancing problems', *European Journal of Operational Research*, 183(2), pp. 674–693.
- Brailsford, S. C., Desai, S. M. and Viana, J. (2010) 'Towards the holy grail: combining system dynamics and discrete-event simulation in healthcare', in, pp. 2293–2303.
- Breu, F., Guggenbichler, S. and Wollmann, J. (2008) 'Construção: os excessos e o futuro', *Vasa*, pp. 1–6. Available at: <http://medcontent.metapress.com/index/A65RM03P4874243N.pdf>.
- Chiang, W. C. and Urban, T. L. (2006) 'The stochastic U-line balancing problem: A heuristic procedure', *European Journal of Operational Research*, 175(3), pp. 1767–1781.
- Chwif, L. and Medina, A. C. (2006) 'Introdução ao Software de Simulação Simul8', *XXXVIII Simpósio Brasileiro de Pesquisa Operacional*, p. 10. Available at: <http://www.din.uem.br/sbpo/sbpo2006/pdf/arq0283.pdf>.
- Euroconstruct (2016) 'Ongoing Recovery in European Construction', in *81st EUROCONSTRUCT Conference*. Dublin. Available at: <http://www.euroconstruct.org/ec/press>.
- Evans, G. W., Stuckman, B. and Mollaghasemi, M. (1991) 'Multicriteria optimization of simulation models', *1991 Winter Simulation Conference Proceedings.*, pp. 894–900.
- FEPICOP (2013) 'Crise da construção acentua-se, embora com quebras menos pronunciadas', 70(Conjuntura da Construção).
- Frontwave (2016) *Home - Frontwave*. Available at: <http://frontwave.pt/> (Accessed: 18 Junho 2017).
- Gomes, G. (2016) *Characterization and optimization of the production process of sandwich composite structures*.
- Instituto Superior Técnico (2016) *Comunidade IST Spin-Off | Área de Transferência de*

- Tecnologia do IST • TT*. Available at: <https://tt.tecnico.ulisboa.pt/inovacao-e-emprededorismo/ist-spin-off/> (Accessed: 5 Junho 2017).
- Jahangirian, M., Eldabi, T., Naseer, A., Stergioulas, L. K. and Young, T. (2010) 'Simulation in manufacturing and business: A review', *European Journal of Operational Research*. Elsevier B.V., 203(1), pp. 1–13.
- Kara, Y., Özgüven, C., Yalçın, N. and Atasagun, Y. (2011) 'Balancing straight and U-shaped assembly lines with resource dependent task times', *International Journal of Production Research*, 49(21), pp. 6387–6405.
- Law, A. M. and Kelton, W. D. (2000) *Simulation analysis*. 3ª Edição. USA: McGraw-Hill, Inc.
- Lusa, A. (2008) 'A survey of the literature on the multiple or parallel assembly line balancing problem', *European Journal of Industrial Engineering*, 2(1), p. 50.
- Miyagi, P. E. (2006) *Introdução a Simulação Discreta*. 1ª Edição. Paulo, São: Escola Politécnica da Universidade de São Paulo - Departamento de Engenharia Mecatrônica e de Sistemas Mecânicos. Available at: http://sites.poli.usp.br/d/PMR2460/Arquivos/Apostila_Simulacao.pdf.
- Montani, C. (2015) *XXV Rapporto marmo e pietre nel mondo*. Edited by D. Canali. Italia: Aldus.
- Mr. Rohan (2015) *Advanced Composites Market worth 24.9 Billion USD by 2020*, *marketsandmarkets.com*. Available at: <http://www.marketsandmarkets.com/PressReleases/advanced-composites.asp> (Accessed: 14 August 2017).
- Okagbue, H., Edeki, S., Opanuga, A., Oguntunde, P. and Adeosun, M. (2014) 'Using the Average of the Extreme Values of a Triangular Distribution for a Transformation, and Its Approximant via the Continuous Uniform Distribution', *British Journal of Mathematics & Computer Science*, 4(24), pp. 3497–3507.
- Pidd, M. (1998) *Computer Simulation in Management Science*. 4th ed. New York, USA: John Wiley and Sons.
- Porta Nova, A. M. D. O. (2008) *Apontamentos de Simulação*. 1ª Edição. Lisboa: Departamento de Engenharia e Gestão - IST.
- Ribeiro, P. S. (2016) 'Avaliação do comportamento mecânico de estruturas compósitas tipo sanduíche de baixo peso específico utilizando materiais naturais'.
- Robinson, S. (2005) 'Discrete-event simulation: from the pioneers to the present, what next?', *Journal of the Operational Research Society*, 56(6), pp. 619–629.
- Shalliker, J. and Ricketts, C. (2014a) 'An Introduction to Simulation in the Manufacturing Industry using', 2016(release 23).
- Shalliker, J. and Ricketts, C. (2014b) 'An Introduction to Simulation in the Manufacturing Industry using'.
- Simul8 Corporation (2017) *About SIMUL8 Corporation*. Available at: <https://www.simul8.com/about/> (Accessed: 27 February 2017).
- Smith, H. (2005) 'Process simulation and modelling', *Developments in Mineral Processing*, 15(C), pp. 109–121.
- Stonepanels (2013) *Our Stone Veneer Products*, *stonepanels.com*. Available at:

<http://www.stonepanels.com/stone-veneer/> (Accessed: 25 Junho 2016).

Tako, A. A. and Robinson, S. (2010) 'Model development in discrete-event simulation and system dynamics : An empirical study of expert modellers', *European Journal of Operational Research*. Elsevier B.V., 207(2), pp. 784–794.

Tsai, C. S. (2002) 'Evaluation and optimisation of integrated manufacturing system operations using Taguch's experiment design in computer simulation', *Computers and Industrial Engineering*, 43(3), pp. 591–604.

Zahraee, S. M. (2016) 'The Optimal Parameter Design for a Welding Unit of Manufacturing Industry by Taguchi Method and Computer Simulation', 9(2), pp. 487–504.

Zahraee, S. M., Golroudbary, S. R., Hashemi, A., Afshar, J. and Haghghi, M. (2014) 'Simulation of Manufacturing Production Line Based on Arena', *Advanced Materials Research*, 933, pp. 744–748. doi: 10.4028/www.scientific.net/AMR.933.744.

Anexos

Anexo A – Caracterização da cadeia de valor do produto

Tabela 17 – Caracterização da cadeia de valor do produto

Elementos da Cadeia de Valor	Objetivo	Funções do Serviço
(1) Fornecedores	Satisfazer as condições de produção	Fornecimento de Matéria-prima
(2) Conceito Stork	Propriedade Produzir Stork <i>Franchising</i> das Linhas <i>Marketing</i> e credibilização da marca Certificação e melhoria contínua R&D pipeline de produtos	
(3) Sistema Fabril Stork	Produzir quantidades que satisfaçam a procura Ter a maior margem possível Vender o máximo possível	Monitorização do estado físico Aproveitar matérias-primas de pedras diversas Aceder a novos mercados
(4) Produto Stork	Satisfazer as exigências do cliente final	
(5) Promotor	Vender o máximo possível	Apresentar e vender o produto Stork
(6) Dono da Obra	Redução dos tempos de construção Excelência de produto Maximizar qualidade em função do custo	Reduzir tempo construtivo Manutenção fácil e barata Qualidade de serviço
(7) Arquiteto	Imortalizar a obra Acrescentar o máximo de atributos	Integrar com outros elementos Permitir modularidade
(8) Fiscal	Trabalhar em parceria com o dono da obra para a aprovação do produto	
(9) Empreiteiro/ Aplicador	Vender o máximo possível Ter a maior margem possível	Ligar a sistemas de movimentação em obra Fixar estruturas portantes Redução de espaço em estaleiros Reduzir o tempo de fornecimento do produto
(10) Cliente Final	Melhoramento das condições físicas dos revestimentos	Garantir um produto de qualidade e esteticamente atrativo

Anexo B – Diagrama Ciclo de Vida do Colaborador

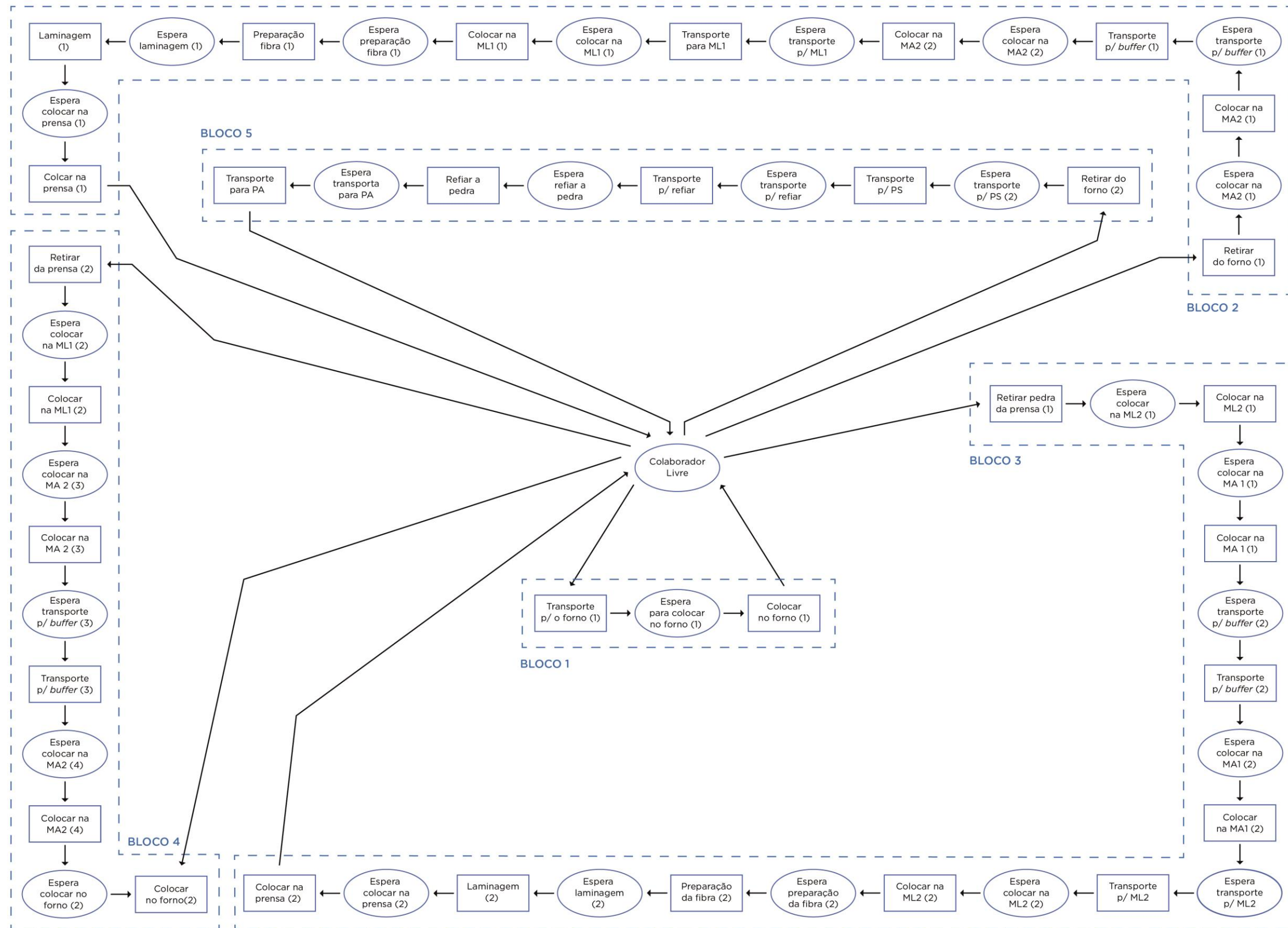


Figura 59 – DCV do Colaborado

Anexo C – Diagrama Ciclo de Vida da Pedra



Figura 60 – DCV da Pedra

Anexo D – Diagrama Ciclo de Atividade

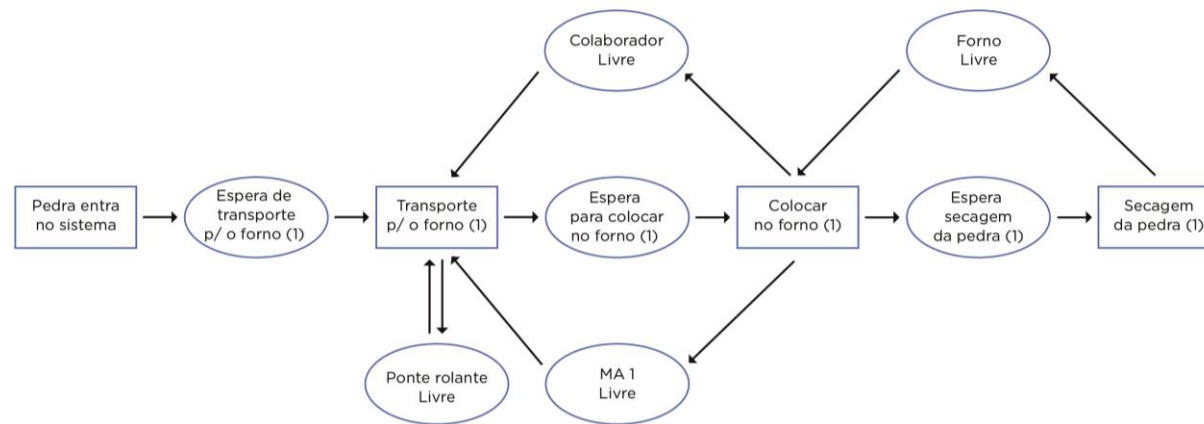


Figura 61 – DCA Bloco 1

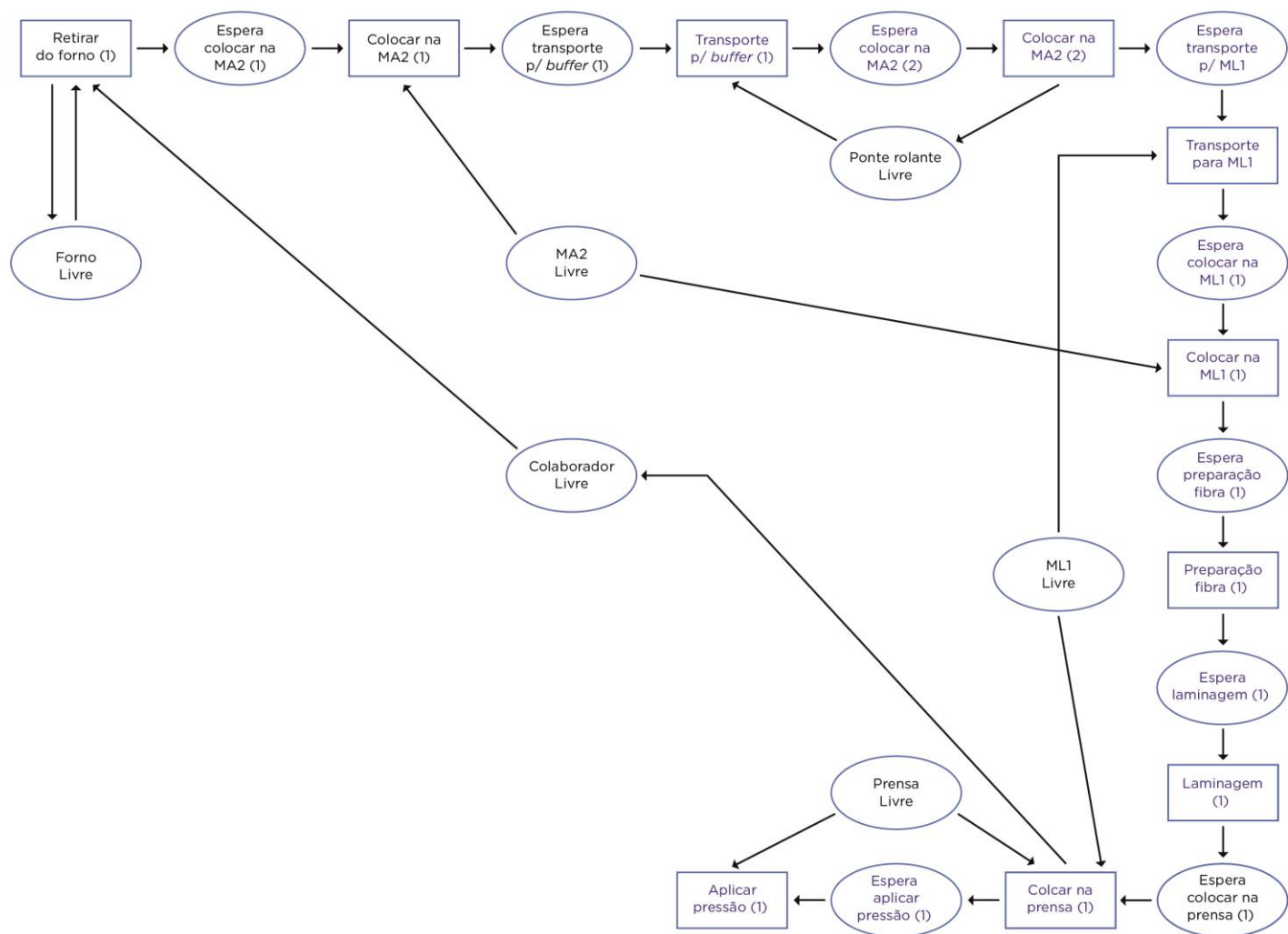


Figura 62 – DCA Bloco 2

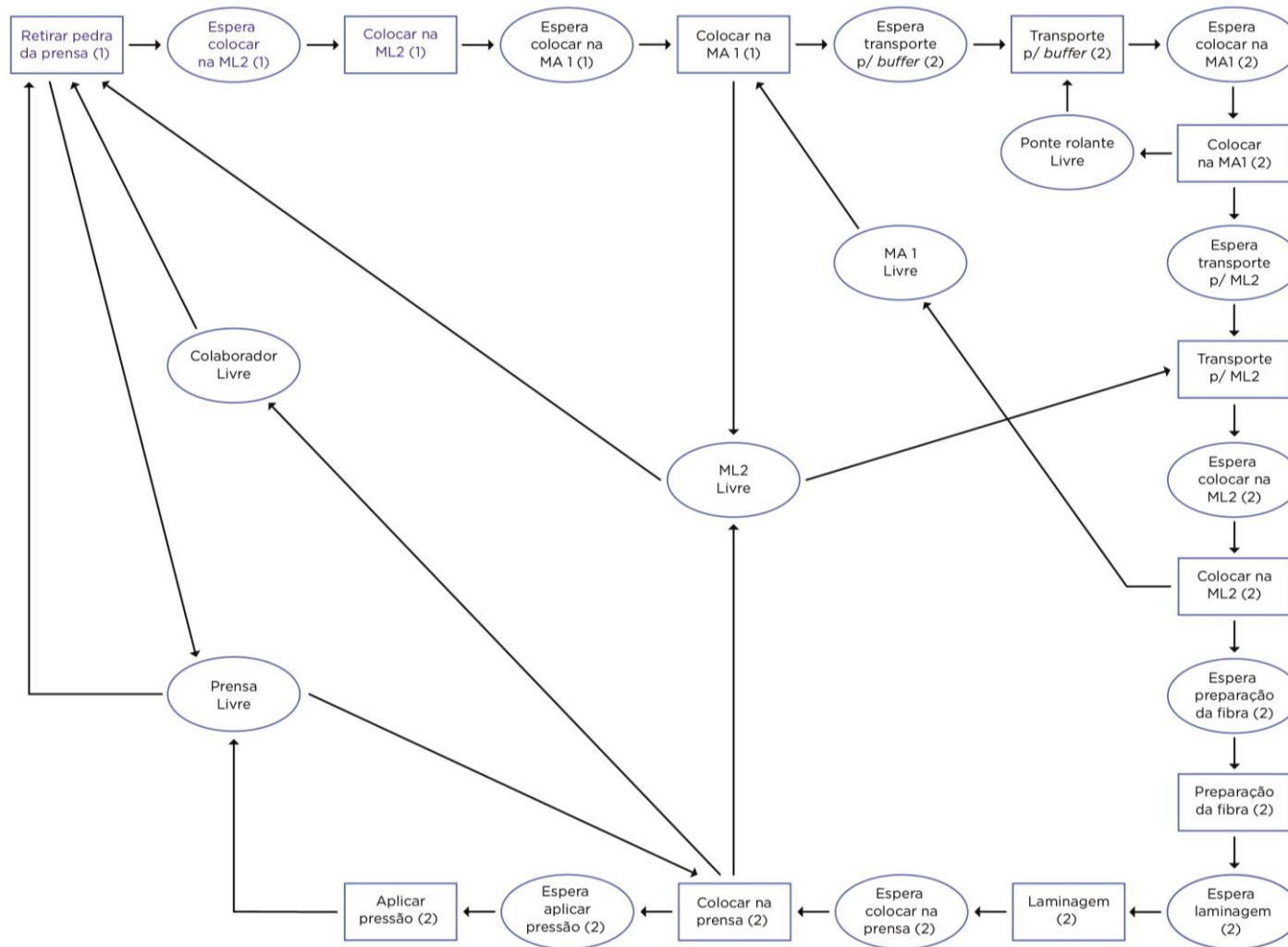


Figura 63 – DCA Bloco 3

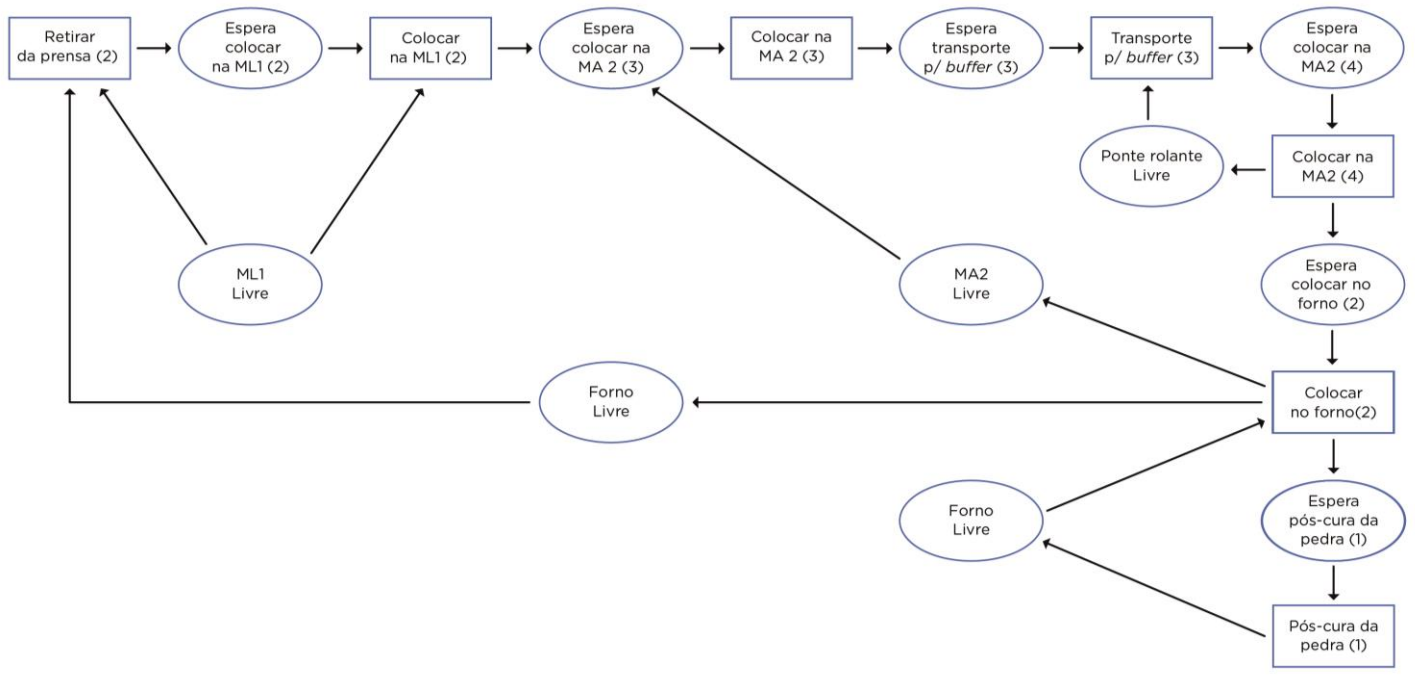


Figura 64 – DCA Bloco 4

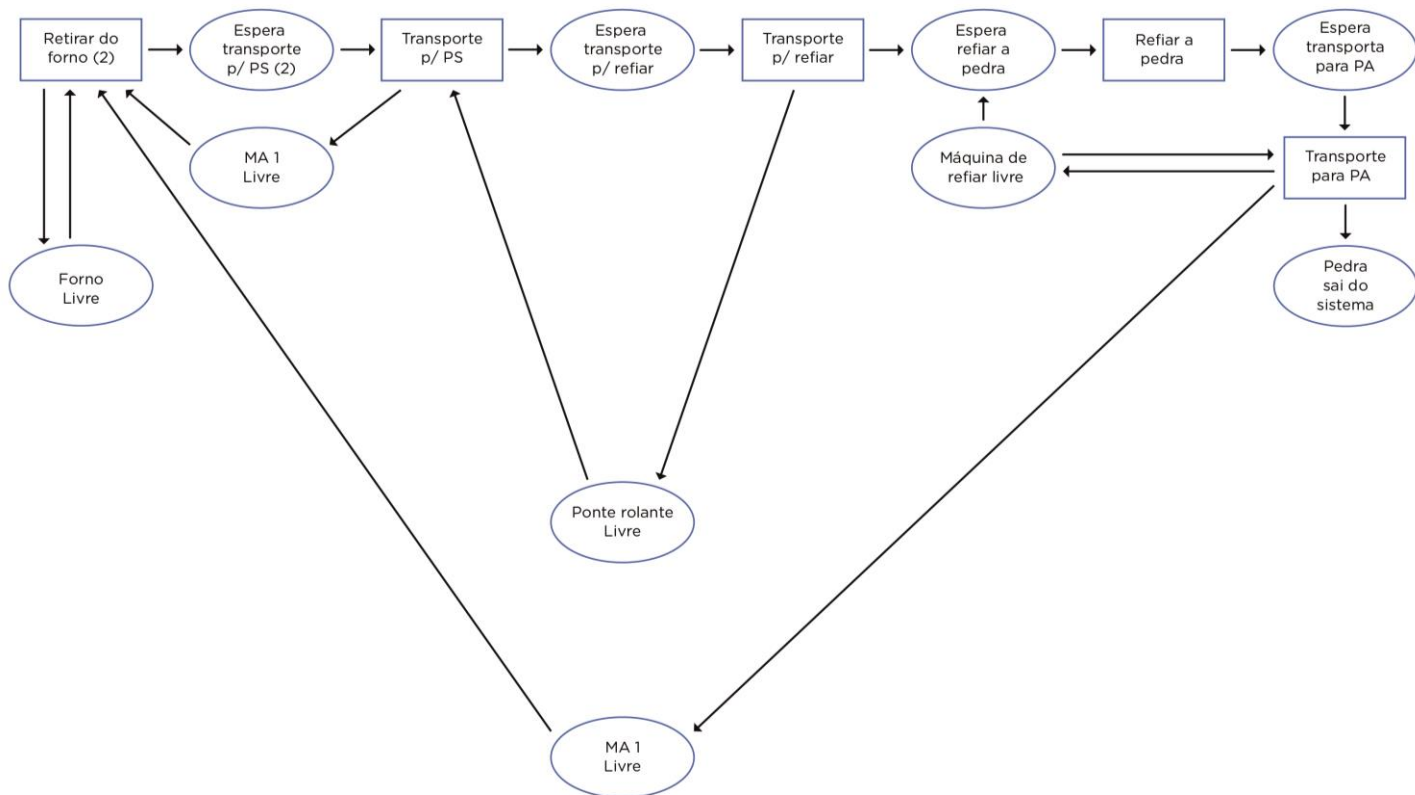


Figura 65 – DCA Bloco 5

Anexo E – Ilustração das restantes atividades pertencentes ao modelo de simulação

Nestes anexos estão as configurações das atividades do modelo de simulação que não se encontram ilustradas no corpo da presente dissertação.

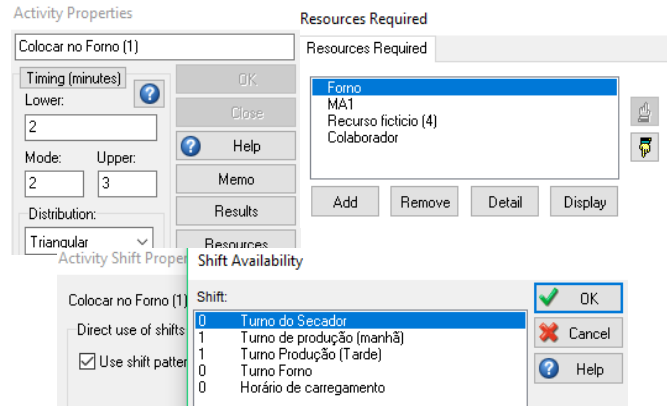


Figura 66 – Configurações da Atividade Colocar no forno

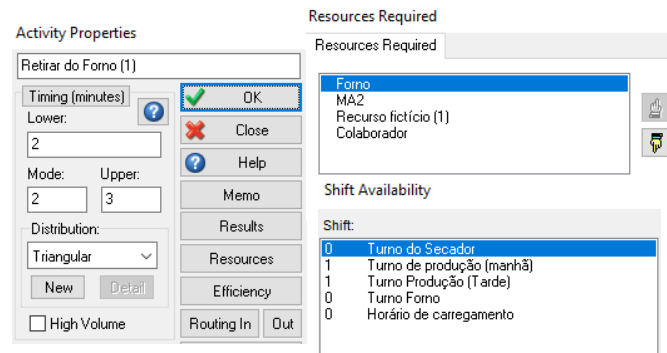


Figura 67 – Configurações da atividade Retirar do Forno (1)

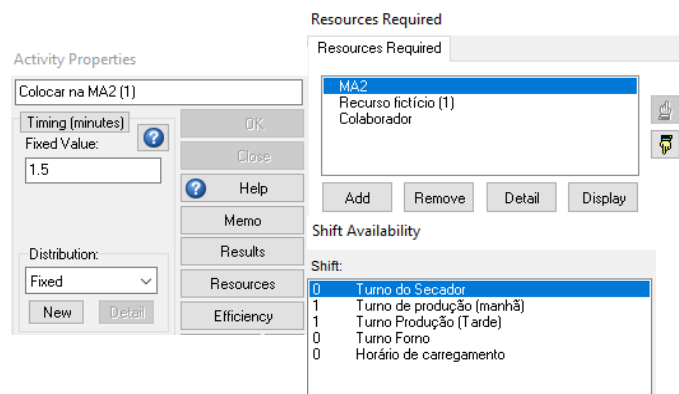


Figura 68 – Configurações da atividade Colocar na MA2 (1)

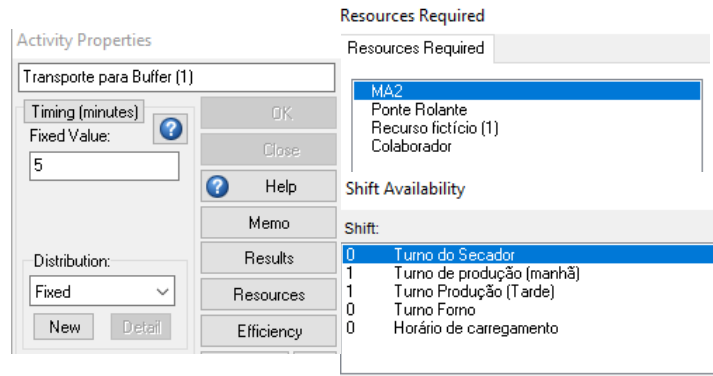


Figura 69 – Configurações da atividade Transporte para o Buffer (1)

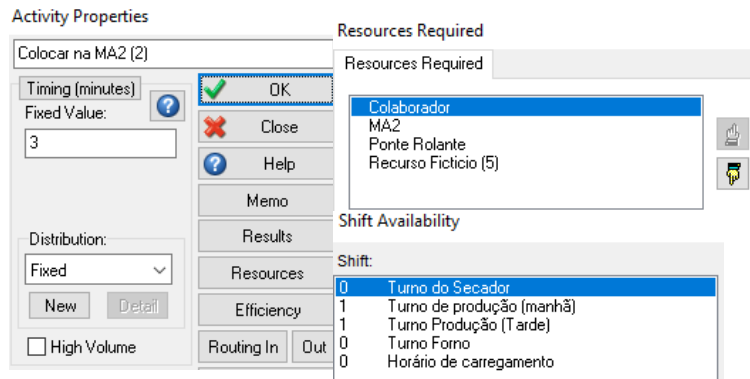


Figura 70 – Configuração da atividade Colocar na MA2 (2)

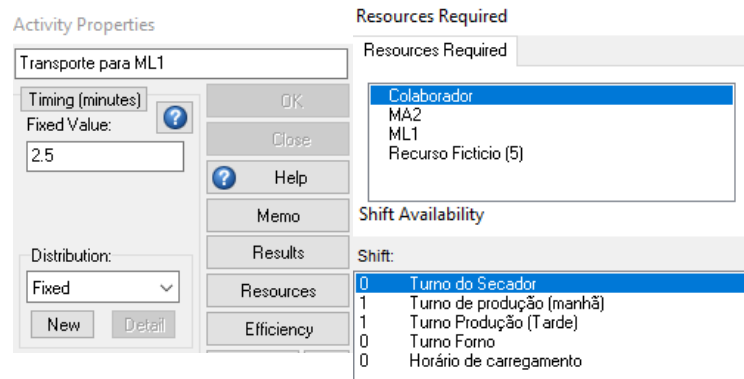


Figura 71 – Configurações da atividade Transporte para ML1

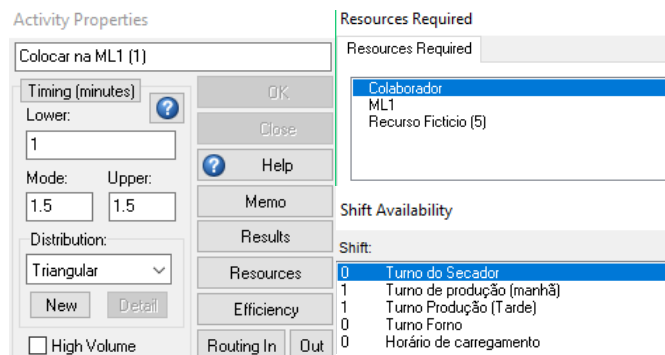


Figura 72 – Configurações do Colocar na ML1 (1)

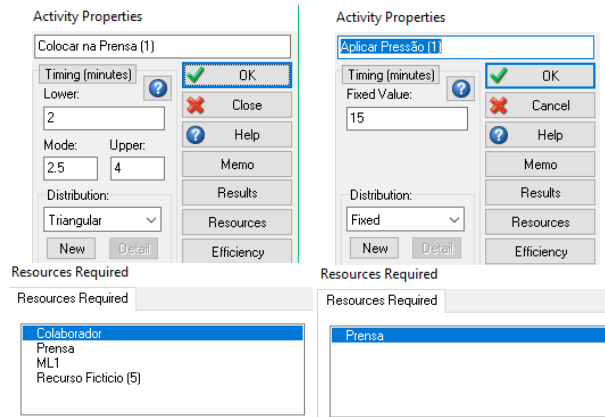


Figura 73 – Configurações da Colocar na Prensa (1) e da Aplicação de Pressão (1)

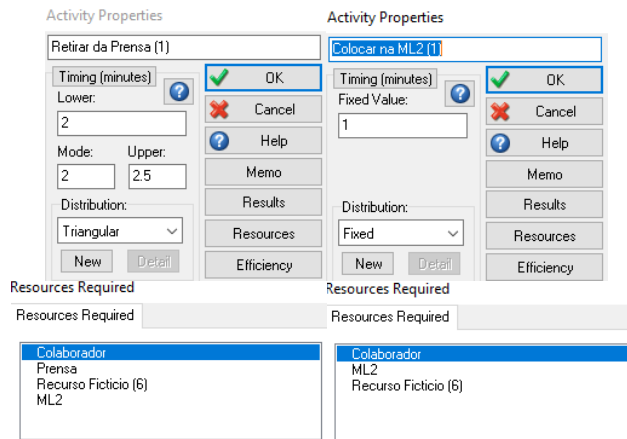


Figura 74 – Configurações da Retirar da Prensa (1) e Colocar na ML2 (1)

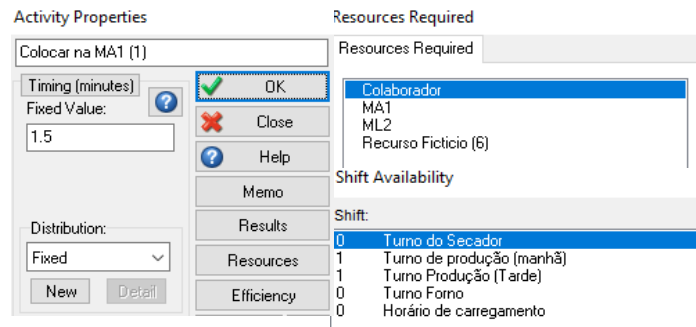


Figura 75 – Configuração da atividade Colocar na MA1 (1)

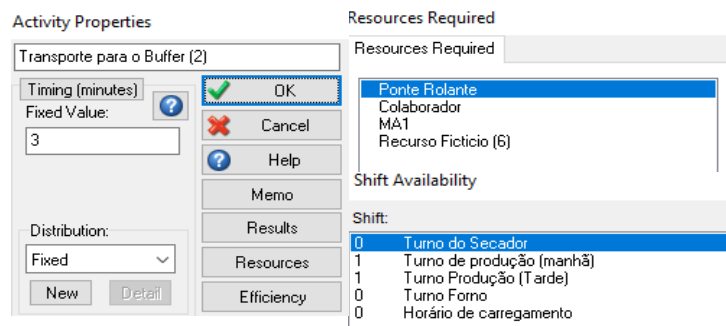


Figura 76 – Configurações do Transporte para o Buffer (2)

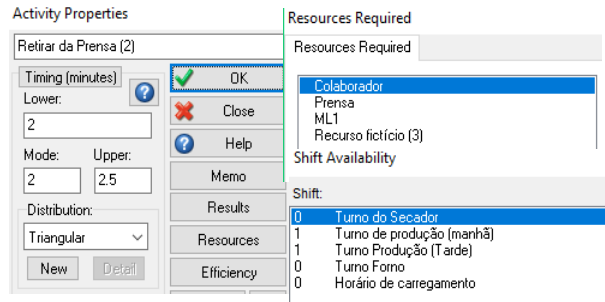


Figura 77 – Configurações da Retirar da Prensa (2)

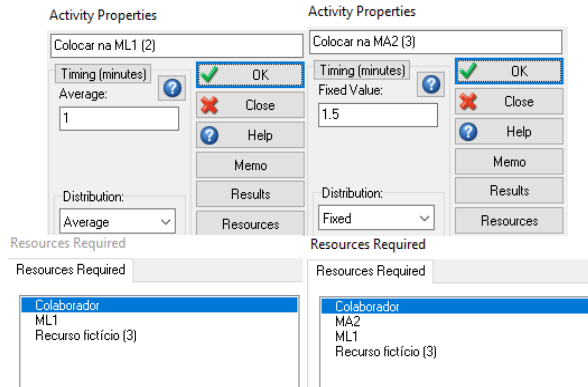


Figura 78 – Configurações da Colocar na ML1 (2) e Colocar na MA2 (3)

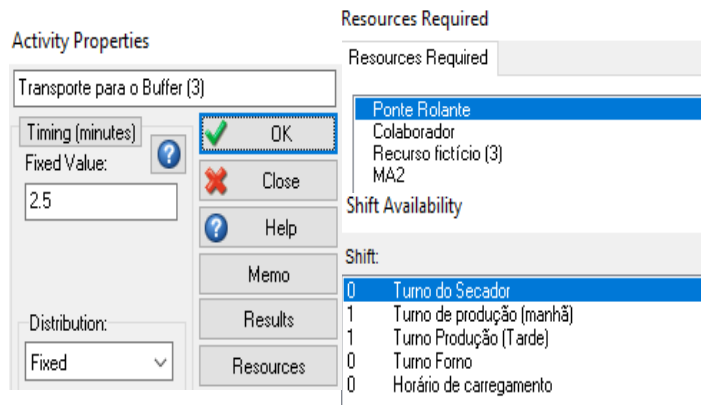


Figura 79 – Configurações de Transporte para o Buffer (3)

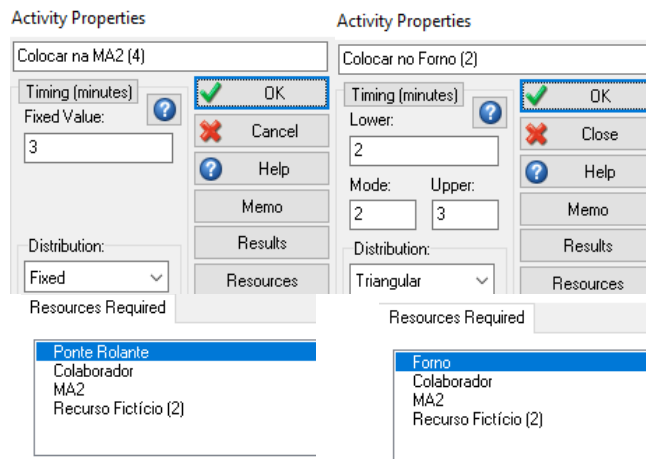


Figura 80 – Configurações da Colocar na MA2 e da Colocar no Forno (2)

Activity Properties	Resources Required
Retirar do Forno (2)	Resources Required
Timing (minutes)	Forno
Lower: 2	MA1
Mode: Upper: 2 3	Colaborador
Distribution: Triangular	Shift Availability
Buttons: OK, Close, Help, Memo, Results, Resources	Shift:
	0 Turno do Secador
	1 Turno de produção (manhã)
	1 Turno Produção (Tarde)
	0 Turno Forno
	0 Horário de carregamento

Figura 81 – Configuração da atividade Retirar do Forno (2)

Activity Properties	Resources Required
Transporte para o PS	Resources Required
Timing (minutes)	Ponte Rolante
Fixed Value: 5	MA1
Distribution: Fixed	Colaborador
Buttons: OK, Close, Help, Memo, Results, Resources	Shift Availability
	Shift:
	0 Turno do Secador
	1 Turno de produção (manhã)
	1 Turno Produção (Tarde)
	0 Turno Forno
	0 Horário de carregamento

Figura 82 – Configurações da atividade Transporte para PS

Activity Properties	Resources Required
Transporte para Refiar	Resources Required
Timing (minutes)	Máquina de Refiar
Fixed Value: 8	Ponte Rolante
Distribution: Fixed	Colaborador
Buttons: OK, Close, Help, Memo, Results, Resources	Shift Availability
	Shift:
	0 Turno do Secador
	1 Turno de produção (manhã)
	1 Turno Produção (Tarde)
	0 Turno Forno
	0 Horário de carregamento

Figura 83 - Configurações da atividade Transporte para Refiar

Activity Properties	Resources Required
Transporte para PA	Resources Required
Timing (minutes)	Máquina de Refiar
Fixed Value: 2.5	Ponte Rolante
Distribution: Fixed	Colaborador
Buttons: OK, Close, Help, Memo, Results, Resources	Shift Availability
	Shift:
	0 Turno do Secador
	1 Turno de produção (manhã)
	1 Turno Produção (Tarde)
	0 Turno Forno
	0 Horário de carregamento

Figura 84 - Configurações Transporte para PA

Anexo F – Verificação das atividades fictícias

Queue for Colocar na MA2 (2)		AF (2)
Number of work items in this storage:	<input checked="" type="checkbox"/> OK	Number of work items:
Currently:	0	Currently in Activity:
Minimum:	0.00	Minimum:
Average:	0.08	Average:
Maximum:	5.00	Maximum:
Total Entered:	200	Completed Jobs:
		40

Figura 85 – Resultados associados à AF (2)

$$N^{\circ} \text{ de pedras/trabalho completo} = \frac{\text{Total de entradas}}{\text{Trabalhos completos}} = \frac{200}{40} = 5 \text{ pedras/trabalho (3)}$$

Queue for Colocar na MA1 (2)		AF (3)
Number of work items in this storage:	<input checked="" type="checkbox"/> OK	Number of work items:
Currently:	0	Currently in Activity:
Minimum:	0.00	Minimum:
Average:	0.12	Average:
Maximum:	5.00	Maximum:
Total Entered:	200	Completed Jobs:
		40

Figura 86 – Resultados associados à AF (3)

$$N^{\circ} \text{ de pedras/trabalho completo} = \frac{\text{Total de entradas}}{\text{Trabalhos completos}} = \frac{200}{40} = 5 \text{ pedras/trabalho (4)}$$

Queue for Colocar na MA2 (4)		AF (4)
Number of work items in this storage:	<input checked="" type="checkbox"/> OK	Number of work items:
Currently:	0	Currently in Activity:
Minimum:	0.00	Minimum:
Average:	0.07	Average:
Maximum:	5.00	Maximum:
Total Entered:	200	Completed Jobs:
		40

Figura 87 – Resultados associados à AF (4)

$$N^{\circ} \text{ de pedras/trabalho completo} = \frac{\text{Total de entradas}}{\text{Trabalhos completos}} = \frac{200}{40} = 5 \text{ pedras/trabalho (5)}$$