



JORGE FILIPE TELES **Análise e Simulação de um Sistema de
Transformação de Cortiça**



JORGE FILIPE TELES **Análise e Simulação de um Sistema de
Transformação de Cortiça**

Relatório de projeto apresentado à Universidade de Aveiro para cumprimento dos requisitos necessários à obtenção do grau de Mestre em Engenharia e Gestão Industrial, realizada sob a orientação científica do Doutor Rui Jorge Ferreira Soares Borges Lopes, Professor Auxiliar do Departamento de Economia, Gestão e Engenharia Industrial da Universidade de Aveiro e sob a coorientação da Doutora Ana Luísa Ferreira Andrade Ramos, Professora Auxiliar do Departamento de Economia, Gestão e Engenharia Industrial da Universidade de Aveiro.

Dedico este trabalho aos meus pais por todo o apoio, paciência e carinho que me prestaram nesta longa etapa da minha vida, a minha formação. Dedico, também, e em especial, este trabalho à mulher que sempre me apoiou nos últimos 3 anos da minha vida acadêmica, a minha namorada, e que me irá continuar a apoiar, certamente.

o júri

Presidente

Professor Doutor Carlos Manuel dos Santos Ferreira
professor associado com agregação da Universidade de Aveiro

Doutor Luís Miguel da Silva Dias
Professor auxiliar da Universidade do Minho

Professor Doutor Rui Jorge Ferreira Soares Borges Lopes
professor auxiliar Convidado da Universidade de Aveiro

agradecimentos

Agradecer, à Amorim & Irmãos S.A. por me ter acolhido tão bem, por me terem feito crescer profissionalmente e pessoalmente e me terem concedido tamanha experiência durante o estágio curricular.

Um agradecimento especial ao meu tutor de estágio, Eng^a Tiago Pinho, pela paciência, compreensão, responsabilidade e conselhos que me foi transmitindo ao longo da minha estadia na empresa.

Um abraço a todos os meus colegas e amigos de trabalho, em especial, ao Tiago Pimentel, ao Gil Dias (pela excelente integração e pela pessoa bem disposta e alegre que é), ao grande chefe (Sr. Manuel) pela sabedoria transmitida, ao Daniel Dolores e ao Pedro PPai.

Agradecer, ao Benfica por ter sido campeão e não ter de vos ouvir (Chefe, Gil e Daniel) nas semanas que ganhamos 3 títulos. Foi um sossego.

A todos os encarregados e colaboradores da empresa pela disponibilidade e paciência que tiveram para comigo, bem como, a confiança depositada no meu trabalho.

Agradecer a enorme paciência e disponibilidade do orientador deste projeto, ao Professor Rui Borges. Agradecer todos os conselhos que me deu e que, também, me fizeram crescer. Agradeço, igualmente, à Professora Ana Luísa Ramos, pela paciência que teve comigo em especial, pelos ensinamentos no ARENA.

A todos os amigos e colegas que fiz nos últimos 5 anos, em especial ao madeirense, ao patchon, ao samúdio, ao ricardo e à adriana, pela companhia, amizade e ajuda que os caracterizam.

Resumidamente, obrigado a todos! Vemo-nos por aí...

palavras-chave

Balanceamento, Filas de Espera, Fluxo Produtivo, Produção em Linha, Simulação, Software Arena, Taxa de Utilização

resumo

O presente trabalho, descreve o desenvolvimento de um modelo de simulação para análise de uma parte importante da unidade fabril da Amorim & Irmãos S.A. respeitante à transformação de cortiça em rolha 100% natural. O objetivo do modelo de simulação passa por avaliar o fluxo produtivo, através da análise de indicadores de desempenho como o *lead time*, taxas de utilização dos recursos simulados, bem como as respetivas filas de espera. Após essa análise dinâmica do sistema, com o objetivo de melhorar a sua resposta, é elaborado um plano de ações com sugestões de melhoria, exequíveis e implementáveis num futuro próximo, para dar resposta aos problemas identificados.

keywords

Arena Software, Flow Production, Line Balancing ,
Production Line, Queue, Simulation, Utilization Rate

abstract

This work describes the development of a simulation model for the analysis of an important part of a factory unit at Amorim & Irmãos S.A. which refers to the transformation of cork into stoppers that are 100% natural. The aim of the simulation model is to assess the productive flow, through the analysis of performance indicators such as lead time, the rate of utilization of the simulated resources, as well as the respective queues. After this detailed analysis of the system, which aims at improving its response, a plan of action will be devised with suggestions of improvement, that are feasible in the near future and that will address the identified problems.

Índice

Índice	i
Índice de figuras	iii
Índice de tabelas	vi
Siglas e acrónimos	vii
1 Introdução	8
2 Revisão bibliográfica	10
2.1 Sistemas, modelos e simulação.....	10
2.2 Simulação de eventos discretos - DES	14
2.3 Passos de um estudo de simulação	16
2.4 Simuladores	21
2.5 Tipos de fluxo de produção.....	28
2.6 Tipos de implantações fabris	31
3 Caso de aplicação: estudo de simulação para análise de processos produtivos.....	37
3.1 Empresa	37
3.2 Formulação do problema e planeamento do estudo.....	44
3.3 Recolha de dados e definição do modelo concetual	45
3.4 Construção do modelo lógico e verificação.....	53
3.5 Realização de teste piloto e validação do modelo	60
3.6 Desenho de experiências.....	60
3.7 Execução do modelo de simulação e análise de resultados	61
4 Conclusões e desenvolvimentos futuros	74
5 Referências bibliográficas.....	76
6 Anexos	78
6.1 Anexo A: Dados de entrada do modelo de simulação	78

6.2	Anexo B : <i>Layout</i> do sistema modelado	80
-----	---	----

Índice de figuras

Figura 1- Sistema Discreto, adaptado de Banks, Carson II, Nelson, & Nicol (2005).....	11
Figura 2- Sistema Contínuo, adaptado de Banks, Carson II, Nelson, & Nicol (2005).....	11
Figura 3- Como estudar um sistema, adaptado de (Law & Kelton, 2000)	13
Figura 4 - Passos de um estudo de simulação, adaptado de (Law & Kelton, 2000) (Sargent, 2013) (Banks, Carson II, Nelson, & Nicol, 2005)	17
Figura 5 – Relação de precisão versus nível de detalhe de um modelo, adaptado de (Robinson S. , 2008).....	19
Figura 6 – Diferença entre fluxo de produção contínuo e descontínuo, adaptado de (Courtois, Pillet, & Martin-Bonnefous, 2007).....	30
Figura 7- Evolução dos custos de produção em função do volume de produção, adaptado de (Courtois, Pillet, & Martin-Bonnefous, 2007).....	30
Figura 8 - Implantações de secções homogéneas, adaptado de (Courtois, Pillet, & Martin-Bonnefous, 2007)	32
Figura 9- Implantação em linha de fabrico, adaptado de (Courtois, Pillet, & Martin-Bonnefous, 2007)	33
Figura 10- Principais tipos de configuração celular, adaptado de (Courtois, Pillet, & Martin-Bonnefous, 2007)	34
Figura 11 - Implantação mista, adaptado de (Courtois, Pillet, & Martin-Bonnefous, 2007)	35
Figura 12 - Missão, Estratégia e Valores da organização (Amorim & Irmãos, 2012)	38
Figura 13 - Calibres e Classes de Cortiça.....	39
Figura 14 – Calibres de rolha: 45x24, 45x26, 49x24, 49x29, 54x24 e 54x26.....	39
Figura 15 - Fluxograma do processo	40
Figura 16 - Paletes Consumidas vs Chegada de paletes ao setor	46
Figura 17 - Pranchas de cortiça, traços e rolhas	46
Figura 18 - <i>Container</i> de traços de cortiça	48
Figura 19 - Picking dos traços de cortiça	49
Figura 20 - Fila de Espera do Abastecedor e Broca, respetivamente	50

Figura 21 - <i>Container</i> amovível que liga os setores da broca ao deslenhar	51
Figura 22 - Cesto Metálico de 28 Mil.....	51
Figura 23 - <i>Coveyor</i> e <i>batch</i> de suporte à alimentação da máquina	52
Figura 24 - Módulo <i>Create</i> do modelo.....	54
Figura 25 - Módulo <i>Decide</i>	54
Figura 26 - Módulo <i>Assign</i>	55
Figura 27 - Módulo <i>Separate</i>	55
Figura 28 - Módulo <i>Batch</i>	56
Figura 29 - Módulo <i>Process</i>	56
Figura 30 - Módulo <i>Record</i>	57
Figura 31- Modelo da Rabaneação à Broca (Linha A a F).....	57
Figura 32 - Modelo da Rabaneação à Broca (Linha G a H) e rabaneação de apoio (1 a 4) 58	
Figura 33 - Modelo do setor Deslenhar e Estufa de Pré-Secagem	59
Figura 34 - Modelo do setor AM I e 1ª Escolha.....	59
Figura 35 - <i>Input vs Output</i> (Kg) – Rabaneação	62
Figura 36 - Taxa de Utilização (%) – Rabaneação.....	62
Figura 37 - Fila de Espera (Kg) - Rabaneação	63
Figura 38 - <i>Output</i> (Rabaneação) vs <i>Input</i> (Abastecedor e Brocagem)	64
Figura 39 - Taxa Utilização Brocas e Abastecedor	64
Figura 40 - Fila de Espera (Kg) - Brocagem	65
Figura 41 - Animação do Modelo (Rabaneação e Brocagem a Pedal e Semiautomática) ..	66
Figura 42 - <i>Output</i> Brocagem vs Deslenhar (Rolhas)	66
Figura 43 - Taxa de Utilização – Deslenhar	67
Figura 44 - Fila de Espera (Rolhas) - Deslenhar	68
Figura 45 - Taxa de Utilização - AM I e 1ª Escolha.....	69
Figura 46 - Fila de Espera (Rolhas) - AM I e 1ª Escolha	69

Figura 47 - Produção de rolhas por setor.....	70
Figura 48 - Taxas de Utilização (%) - Resumo Global	71
Figura 49 - Filas de Espera Média (minutos) – Resumo Global	71
Figura 50 - Animação das linhas de produção J e K	72
Figura 51 - Animação do setor acabamentos mecânicos I e 1ª escolha	73

Índice de tabelas

Tabela 1 - Estrutura da DES, adaptado de (Schriber, Brunner, & Smith, 2013), (Law & Kelton, 2000) (Banks, Carson II, Nelson, & Nicol, 2005) (Ingalls, 2013)	15
Tabela 2 – Tipos de pacotes de simulação, adaptado de (Anu, 1997) e (Ramos, 2013)	23
Tabela 3 - Indicadores de Desempenho de um sistema produtivo, adaptado de (Pinto, 2006)	35
Tabela 4 - Ilustração dos setores / recursos envolvidos nos estudo (a) – Rabaneadora; (b) Broca Pedal; (c) Broca Semiautomática; (d) e (e) Broca Robot; (f) Deslenhar; (g) Ponçadeira; (h) Topejadeira; (i) Máquina de 1º Escolha.....	43
Tabela 5 - Relação Kg cortiça (nº de traços e rolhas).....	47
Tabela 6 - Calibres Rabaneados, análise ABC	48
Tabela 7 - Sugestões de Melhoria	74
Tabela 8 - Dados de Entrada Rabaneação	78
Tabela 9 - TC dos setores Rabaneação - Deslenhar	78
Tabela 10 - TC dos setores Acabamentos Mecânicos I e 1ª Escolha	78
Tabela 11 - <i>Failures</i> do modelo de simulação	79

Siglas e acrónimos

DES – *Discrete-Event Simulation*

TC – Tempo de Ciclo

FIFO – *First-in-First-Out*

PT – Posto de Trabalho

Kg – Quilograma

Mil – Milheiro

REP – Rácio de Eficácia do Processo

V&V – Verificação e Validação

Capítulo 1

1 Introdução

No mundo de hoje em dia, globalizado e competitivo, as empresas só conseguem subsistir se obtiverem margens de lucro suficientes. Contudo, ganhar mais vendendo mais caro é extremamente complicado devido à concorrência cada vez mais forte. Resta, por isso, optar por outra solução, gastando menos, atuando na vertente dos custos.

O conceito do *Lean Management* assenta na questão “ será que se pode fabricar produtos que correspondam perfeitamente às expectativas dos clientes, a custos excepcionalmente baixos e que prima pela qualidade?”. Este conceito traduz-se por uma gestão magra em que seja ágil e capaz de se adaptar a qualquer mudança do seu ambiente gerando o menor desperdício possível. Por isso o *Lean Management* tem por objetivo melhorar o desempenho industrial, utilizando menos recursos (Courtois, Pillet, & Martin-Bonnefous, 2007).

Neste projeto, pretende-se fazer uma gestão magra dos recursos, aproveitando ao máximo aquilo que existe. Para isso este projeto aborda numa primeira fase, a literatura mais relevante para a simulação e é feito uma revisão aos conceitos de fluxo de produção e implantações fabris. Este enquadramento irá permitir enriquecer a discussão deste projeto através da análise conjunta de indicadores de desempenho, gerados pelo Arena® (software de simulação), com o tipo de fluxo e implantação que rege o sistema modelado. Portanto, no capítulo 2 estão presentes os conceitos importantes para o seguimento deste trabalho.

Seguidamente, no capítulo 3, é abordado o caso prático real em que se baseia este projeto. É feita uma pequena introdução geral à organização de acolhimento em que acontece o projeto, Amorim & Irmãos S.A.. Durante este capítulo é explicado, passo por passo, a construção de um modelo de simulação que incorpora alguns processos da fábrica (fase inicial do processo). Após isso, a parte mais importante deste projeto, que se prende com a análise de indicadores de desempenho devidamente definidos, em que o objetivo passa por realizar uma análise cuidada da situação atual do sistema modelado quer por setor de fabrico, quer no geral, e enquadrar esses indicadores com o tipo de fluxo de produção e implantação fabril, de modo a se perceber quais as causas dos pontos mais fracos do sistema modelado. Como se pode verificar, este capítulo acaba por ser o mais importante deste projeto e o mais complexo, pois aporta tudo o que é desenvolvimento do trabalho prático com uma ferramenta de simulação, nomeadamente a recolha de dados, a definição do modelo concetual, a verificação e validação (V&V) do modelo de simulação e por fim a análise dos resultados extraídos desse mesmo modelo.

Finalmente, no capítulo 4, é feita uma introspeção da análise que se fez e a partir disso é elaborada a conclusão deste projeto de simulação industrial, que acompanha com um plano de ações com vista ao melhoramento do sistema real. Para além disso são deixadas algumas sugestões para desenvolvimentos futuros que se poderão elaborar e as respetivas mais-valias. Acrescentar, que o objetivo principal deste

modelo de simulação, é que os decisores e analistas da organização o possam utilizar para analisar cenários alternativos ao sistema modelado e apoiar as suas decisões.

Capítulo 2

2 Revisão bibliográfica

2.1 Sistemas, modelos e simulação

Pode-se definir um sistema como um conjunto de elementos distintos, entidades (pessoas ou máquinas), que exercem entre si uma interação ou interdependência de acordo com um determinado fim (Schmidt & Taylor, 1970). Por norma, os sistemas são limitados, tendo limites ou fronteiras que se devem definir. Segundo Banks et.al. (2005) um sistema é caracterizado como um grupo de objetos que, juntos, se unem numa interação regular na realização de um determinado objetivo. Um exemplo disso mesmo é a indústria automóvel, em que a montagem deste (objetivo) é feita através de máquinas, componentes e operadores, que se encontram todos juntos numa linha de montagem em prol de um objetivo comum, que é a construção de um carro de grande qualidade e segurança. Segundo o autor, um sistema é frequentemente afetado por alterações que ocorram fora do sistema. Estas modificações ocorrem no ambiente do sistema. Em modelos de simulação, é necessário decidir e definir uma fronteira entre o sistema e o seu ambiente. Esta decisão depende do objetivo do estudo. No caso de um sistema como é uma fábrica, por exemplo, os fatores que controlam a chegada de encomendas podem ser considerados fora da influência da fábrica e, portanto, parte do ambiente.

Um sistema pode, ainda, ser caracterizado em dois tipos, discreto e contínuo (Figura 1 e Figura 2). Um sistema discreto é aquele no qual o estado das variáveis muda instantaneamente em pontos separados no tempo. Um banco é um exemplo de um sistema discreto, uma vez que o estado das variáveis (por exemplo, o número de clientes no banco) apenas se altera quando um cliente chega ou quando um cliente sai (Law & Kelton, 2000).

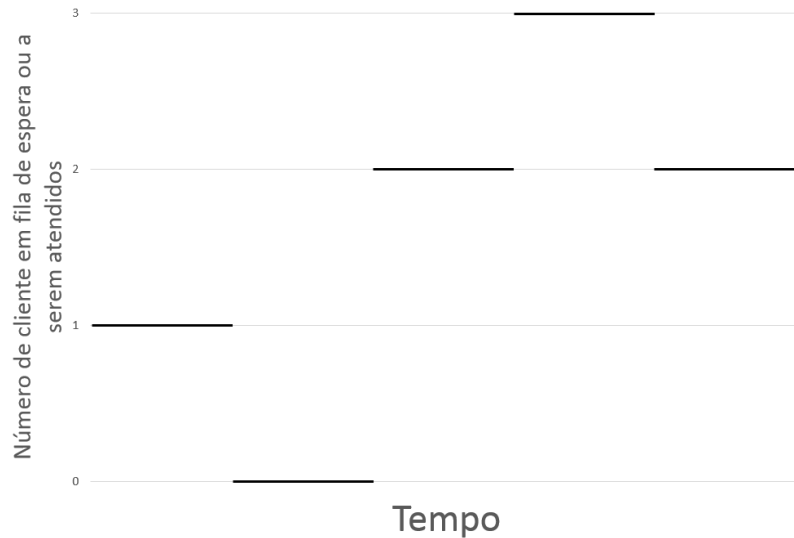


Figura 1- Sistema Discreto, adaptado de Banks, Carson II, Nelson, & Nicol (2005)

Por outro lado, um sistema contínuo é aquele em que o estado das variáveis muda continuamente em relação ao tempo. Um avião em movimento através do ar é um exemplo de um sistema contínuo, uma vez que o estado das variáveis, posição e velocidade mudam continuamente ao longo do tempo. (Law & Kelton, Simulation Modeling and Analysis, 2000).

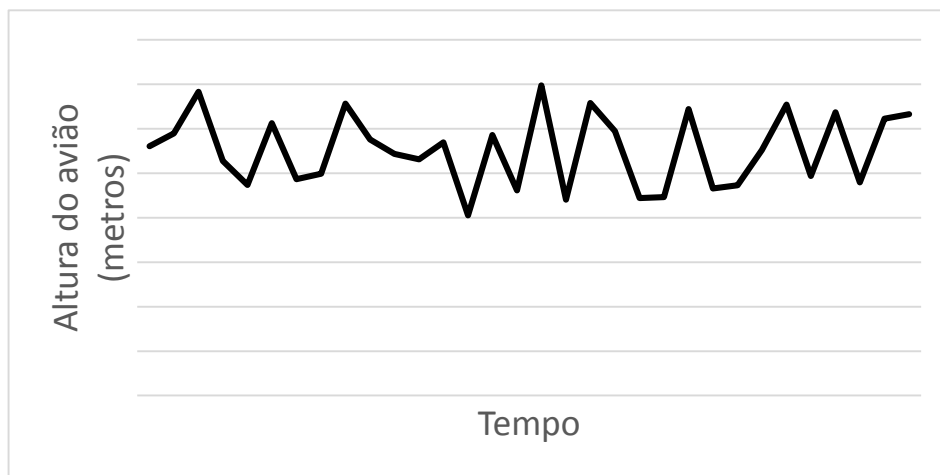


Figura 2- Sistema Contínuo, adaptado de Banks, Carson II, Nelson, & Nicol (2005)

Definição de modelo

Segundo Hillier & Lieberman (2001) um modelo é uma representação de um sistema real no qual só os aspectos mais relevantes para uma determinada análise são tidos em conta. Os autores referem ainda, que um modelo é parte integrante da vida quotidiana das pessoas, quer na ciência quer nos negócios, como é ilustrado por modelos de átomos, de uma estrutura genética, equações matemáticas que descrevem as leis físicas do movimento ou de reações químicas, gráficos e sistemas de contabilidade industriais, por exemplo.

Estes modelos são de valor inestimável para abstrair a essência do objeto em investigação, mostrando as inter-relações e facilitando a análise. Normalmente, um modelo é utilizado para se perceber melhor o funcionamento do sistema que é constituído por um conjunto de pressupostos que podem tomar a forma de relações matemáticas ou lógicas. Anu (1997), afirma, que um modelo acaba por ser uma forma mais simples de representar um sistema. O principal objetivo de um modelo é permitir ao analista uma previsão dos efeitos que determinadas mudanças representam no sistema. Por um lado, um modelo deve ser uma boa aproximação do sistema real e incorporar as características mais importantes. Por outro lado, o modelo deve ser simples, pois se o tornarmos demasiadamente complexos, acaba por ser impossível compreender e realizar testes e prever mudanças, com ele.

Definição de Simulação

Pedgen et.al. (1995) descrevem a simulação como um processo de conceção de um modelo que espelha um determinado sistema real em que se realizam experiências com o propósito de, posteriormente, se perceber o comportamento do sistema e/ou avaliar várias estratégias para a operação do sistema. Eles consideram que a simulação inclui a construção do modelo e a utilização do mesmo para experiências com o objetivo de estudar o problema. Assim pode-se assumir que os modelos de simulação acabam por ser uma metodologia de experimentação e análise em que se deve realizar o seguinte:

- Descrever o comportamento dos sistemas
- Construir teorias ou hipóteses
- Usar o modelo para prever comportamentos futuros do sistema, isto é, os efeitos produzidos pelas mudanças no sistema ou no modo de operação.

A simulação de um sistema corresponde à execução de um modelo do sistema. No seu sentido mais lato, a simulação é uma ferramenta para avaliar o desempenho de um sistema, existente, ou cenários alternativos, sob diferentes configurações de interesse e por longos períodos tempo. No fundo a simulação é usada antes de se construir um sistema de raiz, alterar um já existente ou um novo sistema integrado, com o intuito de reduzir possíveis fracassos no futuro ou satisfazer as especificações, para eliminar gargalos imprevistos, evitar subutilizar ou sobreutilizar os recursos, e otimizar o desempenho do sistema (Anu, 1997). A simulação é uma imitação das operações do mundo real ou de um sistema ao longo do tempo, podendo ser elaborado manualmente ou com o apoio de um computador. A simulação envolve a criação e a observação de uma história artificial de um sistema que permite retirar conclusões das características das operações. (Banks, Carson II, Nelson, & Nicol, 2005).

Concluindo, o conceito de simulação está intrinsecamente ligado com os conceitos referidos anteriormente (sistema e modelo). Deste modo, Law & Kelton (2000) descrevem de que forma um sistema pode ser estudado e entendido (Figura 3).

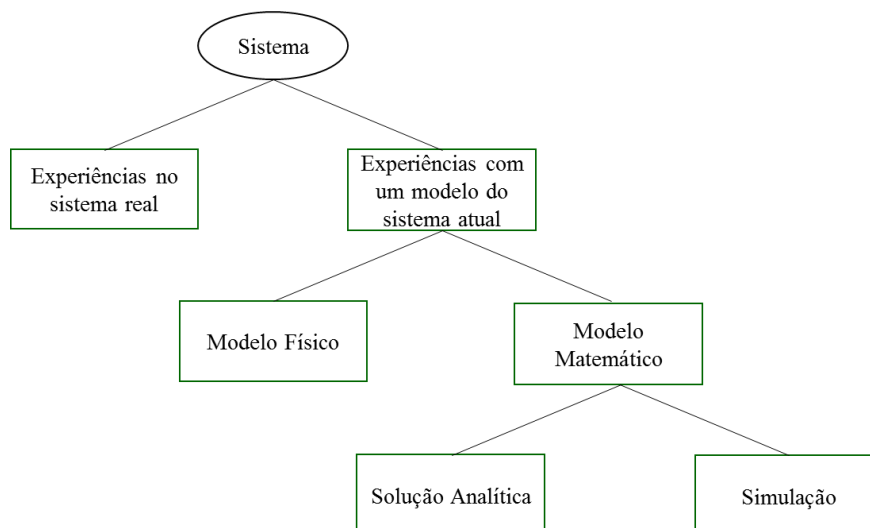


Figura 3- Como estudar um sistema, adaptado de (Law & Kelton, 2000)

Se é possível e rentável alterar o sistema e, em seguida, deixá-lo esperar sob uma nova condição, provavelmente é desejável fazê-lo, pois, neste caso, não há dúvidas sobre a validade e a veracidade daquilo que se testou e estudou. No entanto é raro este tipo de experiências ocorrer porque ao usar-se este tipo de soluções pode acabar por sair muito caro e muito prejudicial para o sistema. Para esse tipo de situações usam-se modelos para realizar experiências a um menor custo, com a vantagem de se poder analisar vários cenários, sem grandes custos adicionais, mesmo antes de eles acontecerem. Estes modelos podem ser físicos ou matemáticos. Um modelo físico ou icônico, não é usual, nem típico, em investigação operacional e análise de sistemas. Quanto aos modelos matemáticos, são usados com bastante frequência. Estes, subdividem-se em dois tipos de ferramentas de estudo, a simulação e a solução analítica (Law & Kelton, 2000).

Se o modelo matemático é simples e fácil para obter uma solução exata, optar por uma solução analítica é o suficiente para as respostas que se pretendem para o sistema. Se uma solução analítica para um dado modelo matemático está disponível e é eficiente computacionalmente, não se aconselha a utilização da simulação, apesar de todas as potencialidades desta ferramenta. Contudo, muitos sistemas são bastante complexos, de modo a que os modelos matemáticos válidos são, também, eles complexos, impedindo qualquer possibilidade de obter uma solução analítica. Neste caso, o modelo deve ser estudado por meio da simulação. Esta, permite, variar os dados de entrada (*input*) e estudar as implicações que estas alterações podem ter no sistema. Apesar de a simulação ser descrita muitas vezes como um último recurso, nos últimos tempos tem sido utilizada com uma maior frequência (Law & Kelton, 2000).

2.1.1 Tipos de modelos de simulação

Os modelos podem ser do tipo estático ou dinâmico, determinístico ou estocástico, contínuo ou discreto.

Modelo de Simulação Estático vs Modelo de Simulação Dinâmico

- Um modelo de simulação estático é a representação de um sistema num determinado tempo, ou um modelo que pode ser utilizado para representar um sistema em que o tempo, simplesmente, não desempenha nenhum papel relevante. Por outro lado um modelo de simulação dinâmico representa um sistema que evolui ao longo do tempo, tal como um sistema de transporte numa fábrica.

Modelo de Simulação Determinístico vs Modelo de Simulação Estocástico

- Se um modelo de simulação não contém qualquer componente probabilística (aleatoriedade) é chamado de determinístico. Por outro lado, muitos sistemas são modelados com alguns componentes de entrada aleatórios e este tipo de modelo denomina-se estocástico. As filas de espera e o sistema de inventário são bons exemplos de modelos estocásticos. Os *outputs* deste tipo de modelos devem ser tratados como uma estimativa das verdadeiras características do sistema.

Modelo de Simulação Contínuo vs Modelo de Simulação Discreto

- Os simuladores contínuos, tentam quantificar as mudanças no sistema de forma contínua ao longo do tempo. Nestes, as variáveis dependentes variam ao longo da simulação, de uma forma contínua no tempo, enquanto, que num modelo de simulação discreto as alterações ocorrem em momentos separados no tempo, ou seja, as variáveis dependentes variam em espaços temporais específicos. A simulação discreta é, ainda, menos detalhada (mais grossa na sua unidade de tempo mais pequena) do que a simulação contínua, mas é muito mais simples de executar, e, portanto, é usado numa ampla variedade de situações (Anu, 1997).

Este trabalho é baseado em modelos de simulação discretos, dinâmicos e estocásticos. Quando o modelo de simulação tem estas características, está-se perante uma simulação de eventos discretos ou DES (*Discrete-Event Simulation*).

2.2 Simulação de eventos discretos - DES

A DES é uma técnica bastante utilizada para estudar processos industriais, mas também para avaliar e analisar mudanças nos processos industriais (Law & Kelton, 2000).

A DES consiste em modelar um sistema que evolui ao longo do tempo através de uma representação de variáveis de estado que se alteram instantaneamente em pontos separados do tempo. Estes são aqueles em que ocorre um determinado evento, onde este é definido como uma ocorrência instantânea que pode alterar o estado do sistema (Law & Kelton, 2000).

Banks et.al. (2005) acrescentam que a simulação de DES serve para estudar os sistemas que mudam o seu estado em pontos discretos no tempo, ou seja, um sistema é modelado no que concerne ao seu estado em cada ponto, em que as entidades que passam através do sistema, os recursos afetados, as atividades e os eventos causam uma mudança de estado do sistema em pontos discretos no tempo. Schriber et.al.(2013) confirmam que na DES um sistema é visualizado como um conjunto de unidades discretas de tráfego que se movem (fluxo) ponto por ponto no sistema enquanto competem uns com os outros para o uso de recursos

escassos (restrições de capacidade). Resumidamente, a DES é aquela em que o estado de um modelo só muda dentro de um conjunto de pontos discretos no tempo, chamados de calendário de eventos.

2.2.1 Componentes de um modelo de simulação

Na Tabela 1 encontram-se descritas as principais definições dos componentes de um modelo de simulação.

Tabela 1 - Estrutura da DES, adaptado de (Schriber, Brunner, & Smith, 2013), (Law & Kelton, 2000) (Banks, Carson II, Nelson, & Nicol, 2005) (Ingalls, 2013)

Componentes de um sistema	Descrição
Entidade	É o objeto de interesse de um sistema que serve para designar a unidade de movimentação do modelo. As entidades têm uma reação/resposta a um determinado evento. Existem dois tipos de entidades, as internas que são criadas e manipuladas implicitamente pelo programa de simulação (falhas das máquinas) e as externas cuja criação e manipulação é explicitamente prevista pelo modelador (chegada de um componente).
Recurso	Este termo designa o elemento que fornece um serviço à entidade. Os recursos possuem capacidade limitada, sendo que as entidades concorrem entre si para a utilização do recurso, gerando assim, filas de espera. Logo, um recurso tem um tempo produtivo e por vezes tempo improdutivo (não processamento de entidades devido a falhas, avarias).
Operação	É uma série de passos realizados por uma entidade enquanto esta se move num sistema.
Atributo	É a propriedade que atribuímos a uma entidade (por exemplo, a prioridade de um cliente em espera). É algo exclusivo de uma entidade.
Atividade	Representa um período de tempo específico. São um processo da simulação.
Estado do Sistema	É definido como um conjunto de variáveis com informação necessária para descrever o sistema em qualquer altura.
Evento	É um acontecimento instantâneo que pode mudar o estado do sistema. O termo endógeno é usado para descrever atividades e eventos ocorridos dentro do sistema e o termo exógeno é usado para descrever a atividade e eventos no ambiente que afetam o sistema. Um evento é gerado através da interação das entidades com uma atividade.
Lista	É um conjunto de entidades associadas, ordenadas de forma lógica (como por exemplo todos os clientes numa fila de espera, por ordem de <i>FIFO</i> ou por uma prioridade específica para cada cliente)
Notificações	É o registo de um evento para ocorrer no presente ou num momento futuro,

Componentes de um sistema	Descrição
	juntamente com todos os dados necessários para executar o evento. Deve constar no registo o tipo de evento e a hora do mesmo.
Lista de eventos	Como próprio nome indica é uma lista dos eventos futuros ordenada pelo tempo de ocorrência.
Delay	É um tipo de atividade na simulação e é um período de tempo, não especificado, de comprimento indefinido, o qual não é conhecido até ao fim. Um atraso de um cliente na fila de espera (<i>Last-in-First-Out</i>) que, quando se inicia, depende da chegada de novos clientes, é um exemplo.
Relógio	É uma variável que representa o tempo simulado.
Filas de espera	As filas de espera são geradas por entidades que se encontram à espera de um recurso para que possam continuar o seu percurso no modelo de simulação. As filas também são uma atividade da simulação.
Atividade Lógica	Permite que a entidade afete o estado do sistema através da manipulação de variáveis de estado ou através da lógica de decisão (prioridades na fila de espera, por exemplo)
Variáveis Globais	É uma variável que está disponível para o modelo inteiro em todos os momentos. Esta pode controlar praticamente qualquer coisa do modelo de simulação. Um exemplo é quando se restringe uma fila de espera de um dado recurso a um número limitado de entidades.
Gerador de Números aleatórios	Cada pacote de <i>software</i> de simulação possui um gerador de números aleatórios próprio. Este gera números aleatórios de 0 a 1 em que posteriormente são utilizados na amostragem de distribuições aleatórias.
Calendário	Para a simulação é uma lista de eventos que estão programados para ocorrer no futuro. Em cada simulação, só existe um calendário de eventos futuros.

2.3 Passos de um estudo de simulação

Para que um estudo de simulação seja o mais bem conduzido possível, desde a sua planificação, à execução e análise de resultados existe um conjunto de passos e tarefas que devem ser seguidos, por forma a aumentar a probabilidade de sucesso desse mesmo estudo. Esses passos constam na Figura 4.

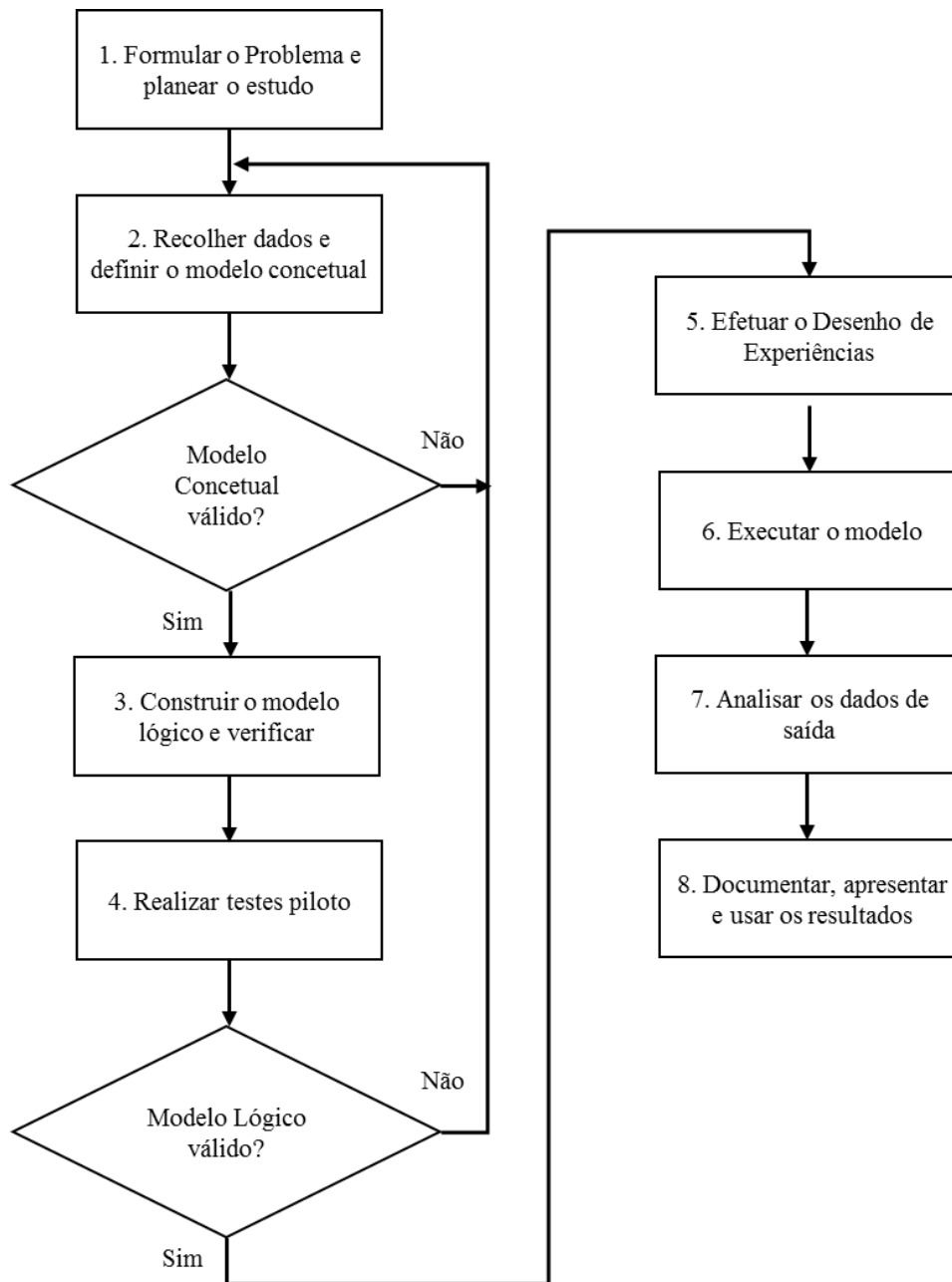


Figura 4 - Passos de um estudo de simulação, adaptado de (Law & Kelton, 2000) (Sargent, 2013) (Banks, Carson II, Nelson, & Nicol, 2005)

1. Formulação do problema e planeamento do estudo

O primeiro passo num estudo de simulação passa por formular o problema que pode ser sugerido pelos gestores e analistas da organização. Neste passo o mais importante a reter são os objetivos gerais do estudo, a que questões o modelo deverá responder, quais as medidas de desempenho e eficácia que serão utilizadas na avaliação do sistema e nas diversas configurações do mesmo, qual o âmbito de aplicação do

modelo, quais as configurações do sistema que serão modelados, o período de tempo necessário para o estudo e, finalmente, que recursos serão necessários para a execução do(s) modelo(s) e consequente estudo. É importante seguir estes passos pois a sua não concretização poderá afetar o estudo de simulação, podendo contribuir para o fracasso do mesmo (Banks, Carson II, Nelson, & Nicol, 2005) (Law & Kelton, 2000).

2. Recolha de dados e definição do modelo concetual

O segundo passo, passa pela recolha de dados e definição do modelo concetual. Aqui, o modelador terá de fazer a recolha de informação sobre o *layout* do sistema e os procedimentos operacionais. Nesta recolha de dados é fulcral investir bastante tempo para perceber, junto das pessoas operacionais, chefes de equipa, gestores e especialistas, o sistema e as operações associadas a cada recurso para que nada seja recolhido sem qualquer escrutínio e discussão. Nesta fase a recolha passa, também, pelos dados que especifiquem os parâmetros do modelo e as distribuições probabilísticas, referentes aos dados de entrada no modelo. Tudo o que foi recolhido até agora deve estar documentado e devem ser mencionadas todas as suposições que serão assumidas (modelo conceptual). Para que o modelo seja validado tem de se recolher, se possível, os dados de saída do sistema, para que posteriormente se possa comparar a realidade do sistema com o que foi modelado (Banks, Carson II, Nelson, & Nicol, 2005). Esta fase de recolha é fulcral para a qualidade do modelo (detalhes) e para a análise final. Na recolha de dados é importante ter em atenção os seguintes pontos:

- Objetivos do projeto;
- Medidas de desempenho;
- Disponibilidade dos dados;
- Credibilidade dos dados recolhidos;
- Restrições computacionais;
- Opinião dos especialistas;
- Limitações de recursos (tempo e dinheiro).

Segundo Robinson (2013) a modelação conceptual é a abstração do modelo de simulação do sistema real que está a ser concebido. Um modelador deve entender o sistema real, primeiro, e só posteriormente o deve modelar, por forma a ser o mais representativo possível. O ideal será construir o modelo com o maior detalhe possível e, embora fosse desejável, não haverá tempo suficiente para o fazer, nem mesmo o conhecimento adequado do sistema para tal. Por isso, existem abstrações que se devem fazer na modelação. A esta abstração, chama-se modelo conceptual.

Seguidamente, é necessário verificar se o modelo conceptual é válido. Para isso é preciso analisar o documento referido anteriormente, onde constam os pressupostos assumidos para o modelo e discuti-los com os analistas, gestores e especialistas. Isto deve ser feito, para que se valide os pressupostos e se garanta que estes estão corretos, por forma a evitar, posteriormente, reprogramações e reajustes no modelo, consumindo ainda mais recursos que não estão disponíveis para consumir, nem estavam definidos no plano de execução inicial.

Robinson (2013) efetuou um estudo que assenta na simulação de um ambulatório para um hospital, em que o objetivo seria saber o nº de camas suficientes para a quantidade de clientes que chega. Dada a complexidade do problema houve abstrações que tiveram de ser feitas, pois o tempo não lhes permitiria ir mais além. O autor defende que é preferível chegar a uma conclusão do que não simular o sistema e não chegar a nenhuma conclusão. Uma das abstrações que fizeram foi não considerar relevante o tempo de espera de cada paciente. No entanto a limitação mais importante foi não considerar a falta de recursos humanos ou a disponibilidade de equipamentos, sendo uma questão relativa, pois não iria ter influência no objetivo do estudo. O autor também refere que a recolha de dados e posterior análise dos mesmo também pode afetar o modelo conceptual. Conclui-se portanto, que o modelo conceptual serve para tornar o modelo de simulação mais simples e mais eficaz na procura de respostas aos problemas que se querem ver solucionados (objetivo). Segundo Robinson (2008) a Figura 5 demonstra a relação entre a precisão do modelo e o nível de detalhe do mesmo (complexidade). Facilmente se conclui que o nível de detalhe tem ser em quantidade ponderada, tendo sempre em mente o objetivo do estudo. Por isso o autor afirma que um modelo deve ser válido, credível, viável e útil. É com base nestes requisitos que se devem fazer as abstrações necessárias e adequadas.

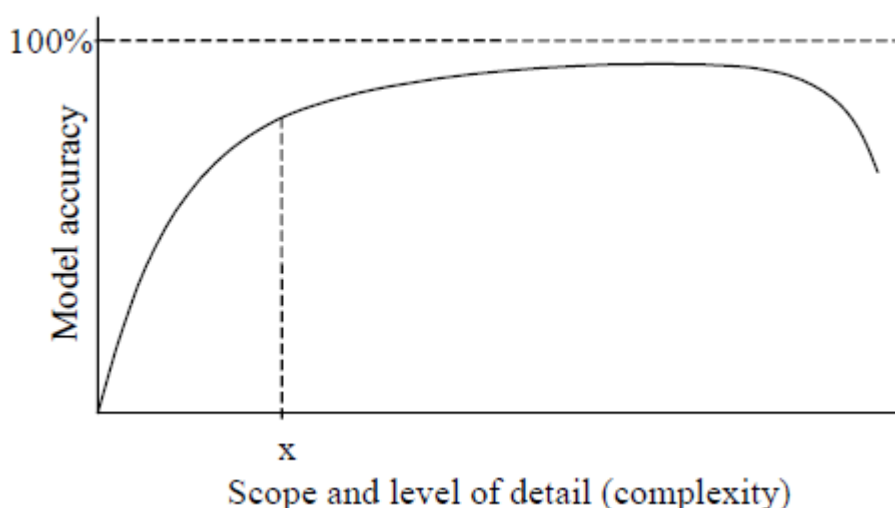


Figura 5 – Relação de precisão versus nível de detalhe de um modelo, adaptado de (Robinson S. , 2008)

3. Construção e Verificação do modelo lógico

No que diz respeito à construção do modelo lógico, pode ser usada para implementação, uma linguagem genérica de programação, uma linguagem de simulação ou, a opção mais usual, um pacote de simulação. A verificação e validação (V&V) de um modelo de simulação tem como objetivo determinar se este modelo e os seus resultados estão corretos, dependendo do objetivo em estudo. Embora a literatura existente trate, por norma, a questão da V&V em conjunto, estes dois processos estão em passos separados, como se pode constatar na Figura 4. Separadamente, a verificação serve para garantir que o programa e modelo de simulação estão corretos (Sargent, 2013). Segundo o mesmo autor, a V&V devem ser direcionadas para o propósito do modelo, ou seja, consoante o objetivo do modelo, este deve ser capaz de responder às perguntas

mais pertinentes. Os modeladores, gestores de topo e utilizadores de modelos de simulação tomam, muitas vezes, as suas decisões com base nos resultados da simulação. Por isso a questão da V&V do modelo torna-se pertinente, pois o objetivo é fornecer o melhor conjunto de dados possíveis, para que as decisões também sejam as melhores. Sargent (2012) defende que a V&V pode ser feita durante a construção do modelo de simulação, ou então, no final da conceção do modelo.

4. Realizar testes piloto e validação do modelo lógico

A validação tem como intuito a comprovação de que o modelo de simulação construído possui, dentro dos limites, uma aplicação e precisão satisfatória (Sargent, 2013). Para se validar um modelo de simulação é preciso definir a precisão de resultados que se pretende para que, posteriormente os dados de saída possam ser validados. Para se obter um modelo válido, tem de se correr o modelo várias vezes (realizar testes piloto), até se ter uma validação satisfatória. Sargent (2013) definiu uma metodologia para a V&V, tendo esta os 8 seguintes passos:

1. Antes do desenvolvimento do modelo de simulação, a equipa de desenvolvimento d projeto deve definir qual a abordagem que deve ser seguida, tendo em vista a tomada de decisão e um conjunto de técnicas específicas de validação com o intuito de validar o modelo.
2. Identificar qual o nível de precisão aceitável para os dados de saída do modelo. A precisão deve ser definida o mais cedo possível.
3. Testar, sempre que possível, todas as hipóteses e teorias subjacentes ao modelo de simulação.
4. Em cada iteração do modelo, é necessário ir validando o modelo conceptual
5. Em cada iteração do modelo, deve-se estudar o comportamento deste.
6. No desenvolvimento do modelo deve-se ir comparando com o sistema real o comportamento dos dados de saída e a partir daqui ir validando esse campo.
7. Preparar a documentação de V&V para ser incluído no relatório do modelo de simulação.
8. Se o modelo de simulação irá ser usado por um determinado período de tempo, construir uma agenda de revisão periódica, com o intuito de garantir a V&V do mesmo.

Sargent (2012) acrescenta e enumera várias técnicas para a validação do modelo. A animação, a comparação com outros modelos válidos, a comparação dos eventos do modelo *versus* sistema real, o teste de condição extrema, a validação por parte de pessoas experientes, a avaliação dos históricos de dados de saída do sistema real, a análise de gráficos, a execução de testes de sensibilidade são algumas das técnicas usadas para a validação do modelo de simulação.

5. Desenho de Experiências

O desenho de experiências possui duas fases diferentes num estudo de simulação. A primeira, anterior ao estudo, deve-se definir tão cedo quanto possível e corresponde à definição das medidas de desempenho a analisar. Posteriormente deve-se definir quais os fatores que poderão variar (Pegden, Sahnnon, & Sadowski, 1995). Os autores acrescentam, que, após a V&V do modelo, deve-se voltar a considerar os planos estratégicos, atualizar as restrições de tempo do projeto, e as restrições que se definiram no modelo concetual. Todas as informações que se tenham recolhido durante a conceção, V&V do modelo, devem ser consideradas no desenho de experiências. Banks et.al. (2005) acrescentam que o desenho de experiências consiste na especificação do comprimento temporal da execução do modelo, tempo de aquecimento do modelo e do número de replicações do modelo. Sanchez e Wan (2011) confirmam que uma das primeiras coisas que, por norma, se deve fazer é definir os fatores experimentais. A meta de um desenho de experiências é identificar quais os fatores importantes para as respostas e os que não são, para que estes sejam retirados da análise por forma a reduzir o esforço experimental e simplificar a tarefa de interpretar os dados.

6/7. Execução do Modelo e Análise dos dados de saída

Após estes passos estarem finalizados, desde o planeamento até à conceção, V&V do modelo, é indispensável executar o modelo de simulação para que se possa extrair os dados de saída do modelo (*outputs*) para uma posterior análise de indicadores de desempenho (Banks, Carson II, Nelson, & Nicol, 2005) (Law & Kelton, 2000). Os resultados obtidos através da simulação têm por objetivo determinar o desempenho do sistema e de outras configurações, bem como a comparação de vários cenários alternativos (Law & Kelton, 2000).

8. Documentar, apresentar e usar os resultados

Por fim, é esperado que se documente o estudo de simulação, o modelo, a análise dos resultados e as propostas para estudos futuros. Na apresentação de resultados torna-se útil a aplicação da animação do modelo de simulação por forma à comunicação para com os gestores e outras pessoas que não estão familiarizadas com o programa e modelo, percebam certos detalhes do estudo. No documento final, também deve constar uma pequena discussão sobre a construção do modelo, bem como a V&V com o propósito de promover a credibilidade dos resultados finais obtidos. Como estes irão ser usados pelos decisores é fulcral para um estudo transmitir confiança nos resultados (Banks, Carson II, Nelson, & Nicol, 2005).

2.4 Simuladores

Grande parte das organizações que simulam ambientes fabris usam um *software* de simulação (ou pacote de simulação) comercial. Para uma escolha eficaz de um *software* é tido em conta a flexibilidade da modelação e privilegiando um uso fácil e intuitivo. Por estes motivos torna-se um pouco complicado escolher a ferramenta de simulação mais apropriada para o problema que se pretende resolver. Uma escolha errada pode comprometer qualquer projeto de simulação, aumentando os custos do projeto comparativamente ao inicialmente previsto (Anu, 1997).

Segundo Ramos (2013), um modelo de simulação pode ser elaborado através de uma linguagem de simulação, ou através de simuladores. Em relação ao primeiro tipo, a natureza genérica da linguagem e a elevada flexibilidade são as grandes vantagens de se optar por esta via. Ao invés disso, os requisitos de programação (conhecimento) e a verificação bastante exigentes são os pontos fracos da linguagem de simulação. No que diz respeito aos simuladores, o facto de existirem pacotes de software orientados para um determinado tipo de aplicação, a elevada facilidade de utilização e os requisitos de programação e verificação menos exigentes traduzem os pontos fortes deste tipo de opção. No entanto, a flexibilidade limitada pelos pacotes de software é o principal ponto menos favorável. Na pode-se visualizar alguns pacotes de simulação, orientados para diferentes áreas. Referir que neste trabalho será usado o simulador Arena®, adequado na simulação de sistemas de produção.

Algumas características importante a ter em conta na escolha de um simulador (Anu, 1997):

- Flexibilidade de modelação;
- Facilidade no desenvolvimento e rastreabilidade do modelo;
- Execução rápida do modelo;
- Capacidade de elaboração de animação;
- Capacidade estatística;
- Relatório de resultados do modelo;

Tabela 2 – Tipos de pacotes de simulação, adaptado de (Anu, 1997) e (Ramos, 2013)

Tipo de pacotes de simulação	Área	Exemplos
Linguagem de Simulação	Genéricas	GPSS/H; SLX; SimScript; AweSim; Extend; SIMAN
	Orientadas a objetos	ModSim III; Simple ++
	Animação	Proof Animation
Software de Simulação	Sistemas de Produção	Arena ; ProModel; AutoMod; TaylorII; Witness; Extend+Manufacturing
	Reengenharia de processos de Negócio	BP\$im; ProcessModel; Extend+BPR; SIMProcess
	Planeamento de Capacidade	Tempo; AutoSched; Factor
	Comunicação/Computadores	ComNetIII; Network; Opnet Modeler; Planner
Sistemas de Saúde		MedModel
Software de Suporte		Expert Fit; Stat:Fit
Software de Optimização		SimRunner; OptQuest; Optimizer; AutoStat

2.4.1 Vantagens e desvantagens da simulação

A simulação é intuitiva e apelativa porque permite representar num modelo o que se passa, verdadeiramente, num dado sistema real. Para além disso é uma ferramenta que apoia os decisores nas suas tomadas de decisão. Pode-se alterar as entradas do modelo, criando vários cenários com saídas diferentes e realizar uma análise cuidada do mesmo, procurando sempre a melhor solução.

Como qualquer ferramenta, existem vantagens e desvantagens relacionadas com o seu uso, em que o balanço entre elas numa determinada situação faz da ferramenta em causa, apropriada ou não. Assim sendo, segundo Pedgen et.al. (1995) as vantagens da utilização desta ferramenta são:

- Novas políticas, procedimentos operacionais, regras de decisão, fluxo de informação, procedimentos organizacionais e muitas outras podem ser exploradas sem ter que interromper o sistema real (evitando custos).
- Novos *layouts*, sistemas de transporte e muitos outros podem ser testados sem comprometer os recursos para a sua aquisição.
- Hipóteses sobre como ou porque ocorrem certos fenómenos, podem ser testados quanto à sua viabilidade.

- O tempo pode ser ajustado (comprimido ou expandido) para permitir um aumento ou diminuição da velocidade do fenômeno que está a ser investigado.
- Pode-se realizar uma análise ao gargalo do processo, e descobrir qual o recurso que causa esse atraso das entidades.
- Um estudo de simulação ajuda a compreender como um sistema funciona.

Segundo o mesmo autor, são enumeradas algumas desvantagens:

- A construção de um modelo requer um conhecimento e treino especial. Só através de bastante treino e experiência acumulada ao longo do tempo é que se consegue modelar um sistema. Para além disso, se duas pessoas completamente diferentes construírem um modelo, este pode ter semelhanças, mas é muito improvável que sejam iguais.
- Os resultados (saídas) da simulação são complexos de interpretar. Como em grande parte dos modelos, os resultados são essencialmente variáveis aleatórias, devido aos dados de entrada introduzido no modelo serem aleatórios, acabando por ser complicado distinguir uma observação, que é o resultado da inter-relação do sistema ou da aleatoriedade.
- A simulação e a sua análise pode ser bastante demorada e dispendiosa. Poupar nos recursos pode resultar num modelo que não serve os propósitos, podendo ser insuficiente para retirar conclusões, o mais acertadas e corretas possíveis.
- A simulação é usada em alguns casos onde se consegue obter uma solução analítica para o problema. Isto é particularmente verdadeiro na simulação de algumas filas de espera onde não é necessária a simulação para chegar às conclusões que são pretendidas.

2.4.2 Utilização da simulação enquanto ferramenta

As potencialidades e as vantagens que a simulação proporciona fazem com que esta seja aceite em larga escala e seja uma das ferramentas mais populares no estudo de operações e na análise de sistemas (Banks, Carson II, Nelson, & Nicol, 2005). Estes autores realizaram uma pesquisa extensa, e chegaram à conclusão que a simulação é uma ferramenta apropriada quando:

- Esta permite o estudo e experiências com interações internas de um sistema complexo, bem como a de um subsistema.
- A informação, organização e mudanças do ambiente de um sistema podem ser simulados e os efeitos de determinadas alterações podem ser estudadas e posteriormente observadas e analisadas.
- O conhecimento adquirido durante a construção do modelo de simulação é uma mais-valia e este é direcionando para as sugestões de melhoria no sistema em que se está a trabalhar.
- A mudança nos dados de entrada do sistema simulado e a observação das consequências dessas mesmas mudanças na saída de dados, podem produzir informações valiosas sobre quais as variáveis mais importantes e como estas interagem.
- Esta é utilizada como um aparelho pedagógico para reforçar as metodologias das soluções analíticas.

- Esta é utilizada para experimentar novos desenhos ou políticas, antes mesmo de as experimentar na realidade e, assim preparar com maior segurança um futuro ainda não conhecido pelo sistema real.
- Serve para verificar soluções analíticas.
- Ao simular diferentes capacidades para uma determinada máquina pode ajudar a determinar os requisitos necessários que o recurso para um determinado recurso.
- A animação mostra as operações de um sistema simulado e ajuda a compreender aquilo que se pretende, na realidade, para o sistema
- Um sistema moderno, como é uma fábrica, é tão complexo que as interações internas podem ser tratadas somente com a simulação.

Antes de se começar a simular um sistema, é preciso ter em conta quando é que é apropriado elaborar um estudo destes, pois é preciso investir bastantes recursos e testar se o problema que se está a estudar não se consegue resolver através de ferramentas analíticas. Para definir quando não é aconselhável usar a simulação, (Banks & Gibson, 1997), definiram um conjunto de 10 pontos onde descrevem em que situações a simulação não é uma ferramenta apropriada. Isto acontece quando:

- O problema pode ser resolvido através do senso comum.
- O problema pode ser resolvido analiticamente.
- É mais fácil experimentar diretamente no terreno, no qual as consequências serão quase nulas e o problema fica resolvido em questão de dias, ao invés de semanas.
- O custo excede as possíveis poupanças. Apesar de quase todos os projetos de simulação terem muitos benefícios qualitativos, a recolha de dados e posterior análise, normalmente é justificada pelo que é esperado em termos quantitativos.
- Não existem recursos disponíveis, adequados, para o projeto. O principal recurso para concluir, com êxito, um projeto de simulação inclui pessoas, software / computadores e recursos financeiros. O componente mais crítico em qualquer projeto de simulação bem-sucedido são as pessoas - analistas experientes que entendam o problema e selecionem o nível adequado de detalhe.
- Não há tempo suficiente para que os resultados sejam usados em tempo útil
- Não existem dados - nem mesmo estimativas dos processos que se pretendem simular.
- O modelo não pode ser verificado ou validado.
- As expectativas do projeto não poderão ser cumpridas.
- O comportamento do sistema é demasiado complexo ou não se consegue definir.

2.4.3 Custos da simulação

É uma realidade que a simulação é uma ferramenta bastante útil, contudo, o custo desta ferramenta pode ser elevado, se não for aplicada da forma mais correta. Obviamente, é algo que se quer evitar. Com esse objetivo os fatores a serem considerados para os custos de um projeto de simulação, segundo Banks et.al. (1997) são:

- O planeamento do projeto, definição do problema, e a documentação dos processos;
- Desenvolvimento do modelo e respetivos testes;
- A recolha de dados, análise e formatação;
- A Validação do modelo;
- Experimentação e análise;
- Possíveis atualizações e/ou melhorias para o modelo, voltar a testar, etc;
- Documentação do projeto e consequente e apresentação.

Também devem ser considerados os custos do *software* de simulação. Simular um problema complexo, pode, facilmente atingir a dezenas de milhares de euros. Modelos de grandes dimensões, com procedimentos operacionais complexos, ou a necessidade de utilizar dados reais (históricos) e quantidades de produto real pode elevar o custo da simulação ainda mais. Por outro lado, alguns projetos de simulação são realizados por causa da perceção de risco para com os sistemas que são demasiado complexos de se entender. O modelo fornece um nível de segurança de forma a entender onde existem possíveis problemas, camuflados com a rotina do dia-a-dia (Banks & Gibson, 1997).

2.4.4 **Aplicação de Simulação na Indústria**

A simulação é bastante usada na Indústria, nomeadamente, na modelação de sistemas de fabrico. O primeiro caso sucedeu-se no início dos anos 60, vindo desde aí a evoluir e a alargar o seu leque de aplicação no seio da Indústria (Law & Michael, 1998).

Segundo (Law & Kelton, 2000) as aplicações da simulação na indústria começaram a ser cada vez mais populares e eficazes ao longo dos últimos anos muito devido às seguintes vantagens enumeradas pelos autores:

- O aumento da concorrência em muitos setores resultou num foco ainda maior na automatização das indústrias com o objetivo de melhorar a produtividade e a qualidade. Como os sistemas automatizados são mais complexos, eles só podem ser analisados através da simulação.
- O custo e o investimento em equipamentos e instalações são bastante avultados, daí surge a simulação como uma ferramenta de apoio à tomada de decisão.
- O custo da computação e da própria tecnologia foi-se tornando cada vez mais acessível financeiramente, motivando as empresas em investir na simulação.
- Com o passar dos anos foram surgindo melhorias significativas nos *softwares* de simulação, que permitiram uma redução significativa no desenvolvimento de um modelo de simulação, possibilitando, assim análises mais oportunas e pertinentes.
- O aparecimento da animação teve um impacto bastante positivo na evolução da simulação na indústria, pois permitiu a pessoas alheias ao tema, compreender e ter uma visão crítica dos modelos simulados, bem como os resultados obtidos através desta.

A simulação na indústria é hoje em dia uma ferramenta valiosa na análise de sistemas. Exemplos disso mesmo são dados por (Law & Michael, 1998) e (Law & Kelton, 2000), onde enumeram vários tipos de problemas que podem ser resolvidos através da simulação.

Necessidade e quantidade de equipamento e pessoal

- Número, tipo e *layout* das máquinas para um determinado objetivo (por exemplo, de 1000 peças por dia);
- Requisitos para empilhadores, comboios logísticos e outros equipamentos de apoio (nº paletes e acessório, por exemplo);
- Localização e tamanho de *buffers* de inventário;
- Avaliação de uma mudança no volume de produção;
- Avaliação do impacto de uma nova peça no equipamento de um sistema de produção já existente;
- Avaliação do capital de investimento;
- Requisitos para o planeamento de produção;
- Número de turnos necessários para determinada situação.

Avaliação de Desempenho:

- Análise da não produtividade do sistema;
- Análise do Tempo das entidades no sistema;
- Análise de pontos gargalo.

Avaliação de procedimentos operacionais:

- Planeamento da produção;
- Políticas de Inventário;
- Estratégias de controlo (por exemplo, um sistema automatizado);
- Análise de confiabilidade (por exemplo, o efeito de medidas preventivas);
- Políticas de controlo de qualidade.

Análise de medidas de desempenho fornecidas e estimadas pela simulação:

- Taxas de transferência;
- Tempo das peças no sistema;
- Tempo gasto pelas peças em filas de espera;
- Tamanhos de filas de espera;
- Prazos de entrega;
- Utilização de equipamentos e recursos humanos.

Pode-se, então, constatar que a simulação é de facto uma excelente ferramenta de apoio à decisão. Estes são alguns exemplos relevantes em relação às aplicações na indústria.

Todas estas aplicações na indústria possuem detalhes que dependem do tipo de fluxo de produção e do tipo de *layout* do sistema. Ou seja, por norma, quando se procede a uma análise ou avaliação de um sistema, tem de se ter em conta o meio envolvente e enquadrar os *outputs* do modelo de simulação consoante a realidade. Portanto, torna-se importante saber um pouco mais sobre os tipos de fluxo de produção e sobre as implantações fabris, para que se possa, no fim, realizar uma abordagem crítica ao que foi modelado, pois estes pormenores podem fazer a diferença na hora da tomada de decisão.

2.5 Tipos de fluxo de produção

Cada empresa é caracterizada pelo que produz e como produz, pelo que é importante classificar o fluxo de produção, segundo os seguintes critérios (Courtois, Pillet, & Martin-Bonnefous, 2007):

- Quantidades fabricadas e repetitividade;
- Organização dos fluxos de produção;
- Relacionamento com os clientes.

Esta classificação permite selecionar e adaptar melhor os métodos de gestão da produção consoante a sua tipologia. Esta análise e posterior caracterização é indispensável a qualquer projeto de implementação na gestão da produção.

Primeiramente, é necessário definir se a organização produz unitariamente, em pequenas séries, médias séries ou em grandes séries. É claro que para cada volume de quantidades produzidas deve-se adotar diferentes implantações fabris. No que diz respeito ao fluxo de produção, este pode ser contínuo, descontínuo ou por projeto.

Produção Contínua

Este tipo de fluxo de produção caracteriza-se, essencialmente, por processar grandes quantidades de um produto ou de uma família de produtos. A implantação deste tipo de fluxo é feita em linha e é denominada por *flow shop*. As máquinas ou as instalações, neste tipo de produção, estão somente dedicadas a fabricar o produto, o que não confere grande flexibilidade na produção. Para evitar constrangimentos na produção é muito importante ter em atenção o equilíbrio (balanceamento) da produção entre máquinas. No entanto, é preciso ter em atenção e realizar manutenções preventivas às máquinas, pois neste tipo de produção a automatização das implantações é elevada, tornando o sistema um pouco vulnerável a pequenas falhas. Referir para o facto de essa automatização permitir um fluxo mais rápido na linha e conseqüentemente poucos produtos em vias de fabrico, diminuindo assim os custos da produção. Salientar, que a flexibilidade da linha é um ponto fraco deste tipo de fluxo de produção (Courtois, Pillet, & Martin-Bonnefous, 2007).

Produção descontínua

Este tipo de fluxo de produção é caracterizado por processar quantidades relativamente pequenas de muitos produtos diversificados, utilizando maquinaria universal. A implantação neste tipo de fluxo está organizada por departamentos funcionais que agrupam as máquinas em função da tarefa a executar. O fluxo dos produtos depende do encadeamento das tarefas. Neste caso está-se perante de uma unidade de produção designada por *job shop*. As máquinas ou instalações, neste tipo de produção, possuem uma grande capacidade de executar variadíssimas operações, visto que são universais (não específicas de nenhum produto), conferindo assim uma maior flexibilidade ao processo. Contudo, existe uma dificuldade em equilibrar tarefas e processos, gerando níveis elevados de *stock* intermédio e de produtos em curso de fabrico (Courtois, Pillet, & Martin-Bonnefous, 2007).

Produção por projeto

Este tipo de produção é caracterizada por ser única e não se repetir, ou seja, consiste no encadeamento de todas as operações que conduzem à conclusão do projeto tentando minimizar os tempos mortos e consequentemente entregar no mínimo intervalo temporal possível e exequível. Sendo uma produção única, neste caso, não é possível, estabilizar a produção (Courtois, Pillet, & Martin-Bonnefous, 2007).

Comparação entre a produção contínua e descontínua

Cada tipo de produção apresenta os seus pontos fortes e os seus pontos fracos, e para se conseguir uma boa comparação entre estes dois tipos de fluxos é necessário abordarmos a eficácia da linha, flexibilidade, prazos e quantidades de produtos em curso. Para medir a eficácia de um determinado processo com o objetivo de o analisar é necessário definir um indicador, o rácio de eficácia do processo (REP), em que o objetivo é determinar a relação entre o tempo de um produto no sistema e o tempo em que se acrescenta valor à entidade (Courtois, Pillet, & Martin-Bonnefous, 2007).

$$REP = \frac{\textit{Tempo de trabalho efetivo}}{\textit{Tempo Total}}$$

Na Figura 6 é possível comparar os dois tipos de fluxo de produção.

	Tipo de produção	
	Produção Contínua	Produção descontínua
Fluxo de produtos		
Eficácia	REP médio de 80% a 100%	REP médio de 5% a 30%
Flexibilidade	Linhas de produção rígidas	Linhas de produção flexíveis
Prazos	Curtos	Longos
Produtos em curso	Reduzido	Elevado

Figura 6 – Diferença entre fluxo de produção contínuo e descontínuo, adaptado de (Courtois, Pillet, & Martin-Bonnefous, 2007)

Facilmente se conclui que gerir um tipo de fluxo de produção contínua é mais fácil, contudo, a flexibilidade, hoje em dia numa empresa, é fundamental. É por isso que se vê muitas indústrias a laborar em fluxo contínuo, apesar de um baixo grau de REP, prazos de produção longos, consequência, de elevadas quantidades de produtos em curso de fabrico. Conclui-se, então, que é complicado encontrar um compromisso entre estas duas soluções opostas. No entanto podemos observar na Figura 7 que a relação custo de produção e volume de produção é bem mais estreita do que a última comparação entre estes dois tipos de fluxo de produção. Courtois et.al. (2007) defendem uma passagem de fluxo de produção contínua, para um tipo descontínuo. Apesar de cientes que essa mudança é bastante complicada, defendem que a flexibilidade do fluxo produtivo é algo que deve ser preservado o mais possível.

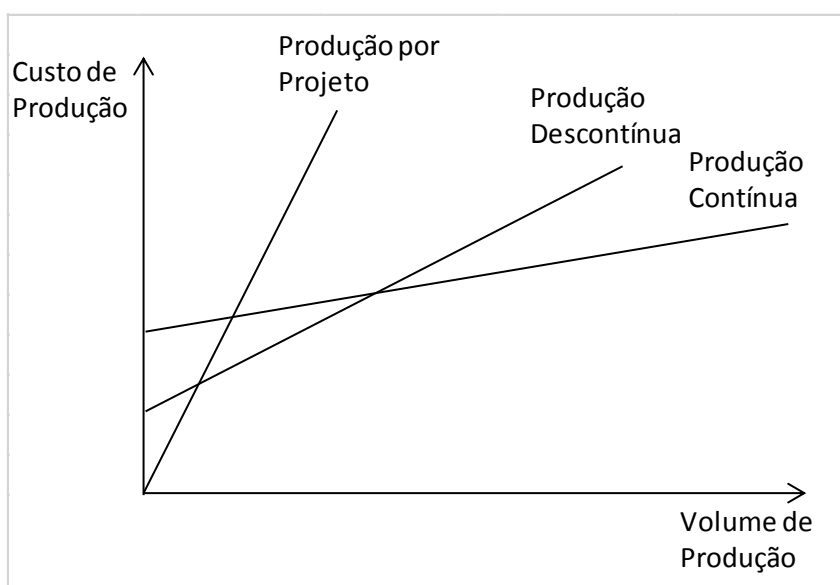


Figura 7- Evolução dos custos de produção em função do volume de produção, adaptado de (Courtois, Pillet, & Martin-Bonnefous, 2007)

2.6 Tipos de implantações fabris

A implementação de um *layout* fabril de um sistema de produção requer alguns princípios básicos para não se cometerem determinados erros (Courtois, Pillet, & Martin-Bonnefous, 2007):

- Qualquer movimentação que não acrescente valor a um produto é um desperdício, devendo ser minimizado e se possível eliminado.
- Um produto nunca deverá ser movimentado duas vezes consecutivas, sem que tenha sido acrescentado valor, num processo.
- Uma boa implantação é aquela em que o fluxo de produção é evidente.

Por isso, vários autores apresentam vários tipos de implantações fabris podendo estas serem homogéneas ou por processo, em linha ou por produto, em célula de fabrico e por posição fixa.. Qualquer uma destas soluções possui vantagens e desvantagens, bem como uma adaptabilidade diferente para os tipos de fluxo de produção já referidos.

Contudo, um dos pontos a ter em conta na classificação de uma implantação fabril é o volume de produção e a variedade de produtos (Dira, Pierreval, & Hajri-Gabouj, 2007).

Implantação de secções homogéneas

Este tipo de implantação fabril encontra-se mais em unidades industriais com um fluxo de produção descontínuo (Figura 8). Este tipo baseia-se no agrupamento de máquinas que são tecnicamente e funcionalmente semelhantes. A principal vantagem desta implantação é a utilização da maquinaria, agrupada, para o fabrico de várias gamas de produtos, sem grandes constrangimentos para o fluxo (Courtois, Pillet, & Martin-Bonnefous, 2007). Segundo Dira et.al. (2007) este tema é discutido de formas diferentes por vários autores. Eles referem-se a este tipo de implantação fabril como sendo um *layout* por processo, em que a principal característica é a elevada variedade de gamas de produtos.

Contudo, o facto de o *layout* estar agrupado por especialidade permite que os recursos humanos sejam especializados num determinado tipo de máquina e que possam passar para outro tipo de maquinaria, sem qualquer problema. No entanto, o facto de neste tipo de organização o fluxo ser um pouco complexo, com alguns pontos de inversão, a acumulação de produtos em curso de fabrico e o conseqüente lead time mais prolongado, é apresentado pelo autor como o grande inconveniente desta implantação fabril (Courtois, Pillet, & Martin-Bonnefous, 2007).

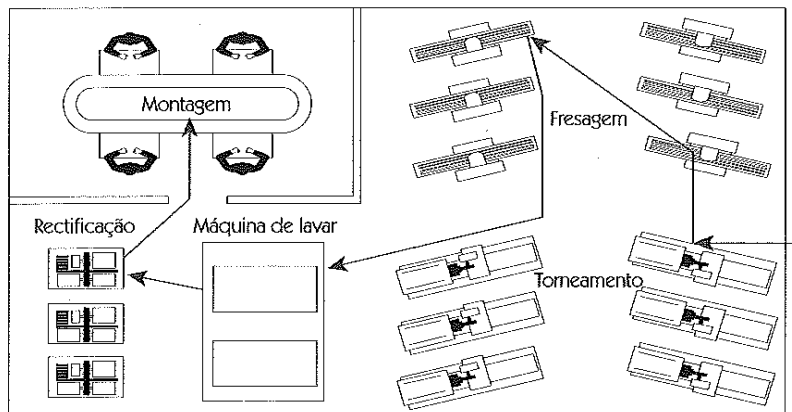


Figura 8 - Implantações de secções homogêneas, adaptado de (Courtois, Pillet, & Martin-Bonnefous, 2007)

Este tipo de *layout* fabril implica grandes movimentações de matérias e produtos, pois estes têm de seguir setor a setor, até ao último processo. Por isso, torna-se necessária a produção por lotes de produção, que está diretamente associado a um aumento do nível de *stock* intermédio, e, conseqüentemente a prazos de produção mais alongados. Para se tornar o fluxo de produção mais fluido deve-se:

- Encadear o máximo de operações possível;
- Suprimir o máximo de *stock* intermédio;
- Reduzir ao mínimo as movimentações associadas à entidade;
- Simplificar o fluxo de produção;
- Controlar de uma forma mais simples e fácil o produto, através da separação das unidades de produção, da separação geográfica do fabrico de produtos diferentes, da descentralização da armazenagem e expedição de produto e, finalmente, do desdobramento de certas máquinas, se possível;

Segundo Xambre (2013), este tipo de implantações fabris caracterizam-se por:

- Elevada flexibilidade, característica da produção descontínua;
- Elevada taxa de utilização dos recursos (humanos e máquinas), devido às variedades de produtos que cada recurso pode processar;
- Dificuldade na contabilização dos produtos processados, devido à cadência de produção elevada de várias gamas de produto, num curto espaço de tempo;
- Elevadas existências em curso de fabrico, característico do tipo de fluxo de produção presente neste tipo de implantação fabril;
- Elevados custos no transporte de material.

Implantação em linhas de fabrico

Este tipo de implantação fabril encontra-se frequentemente em unidade industriais que se regem por um fluxo de produção contínuo (Figura 9). Neste tipo de *layout*, as máquinas são colocada em linha segundo a ordem dos processos que a entidade sofre ao longo do seu tempo no sistema. Como apanágio do fluxo de produção contínua, a ausência de pontos de inversão e uma maior facilidade de identificação dos fluxos representam a vantagem deste tipo de implantação. Contudo a falta de flexibilidade contínua a ser o grande problema deste tipo de implantação (Courtois, Pillet, & Martin-Bonnefous, 2007).

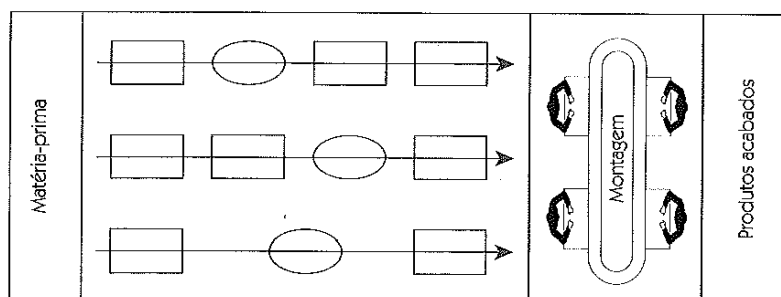


Figura 9- Implantação em linha de fabrico, adaptado de (Courtois, Pillet, & Martin-Bonnefous, 2007)

Segundo Dira et.al. (2007) este tipo de implantações pode ser apelidado de *layout* por produto, em que é usado para grandes volumes de produção e baixa variedade de gamas de produto. Por norma este tipo de *layout* estão organizadas de acordo com a sequência do fluxo produtivo e repetivas operações.

Este tipo de implantação fabril caracteriza-se por (Xambre, 2013):

- Baixo custo no transporte de materiais;
- Ciclo de produção reduzidos, devido ao fluxo de produção contínuo;
- Baixo nível de produto em vias de fabrico;
- Controlo de processo simplificado;
- Baixa motivação dos colaboradores, devido à repetitividade de tarefas durante o dia de trabalho;
- Reduzida flexibilidade, característica da produção contínua.

Implantações em células de fabrico

Uma célula de produção é constituída por pequenas oficinas de produção especializada na realização integral de um conjunto de peças. Estas células são consideradas como ilhas de produção. A grande vantagem deste tipo de implantação fabril é a diminuição dos *stocks* e do prazo de produção. Segundo Courtois et.al.(2007) os principais tipos de configurações para as células de fabrico são em linha reta, em serpentina, em “U” e em círculo. Estes tipos de configuração em célula de fabrico, podem ser visualizados na Figura 10.

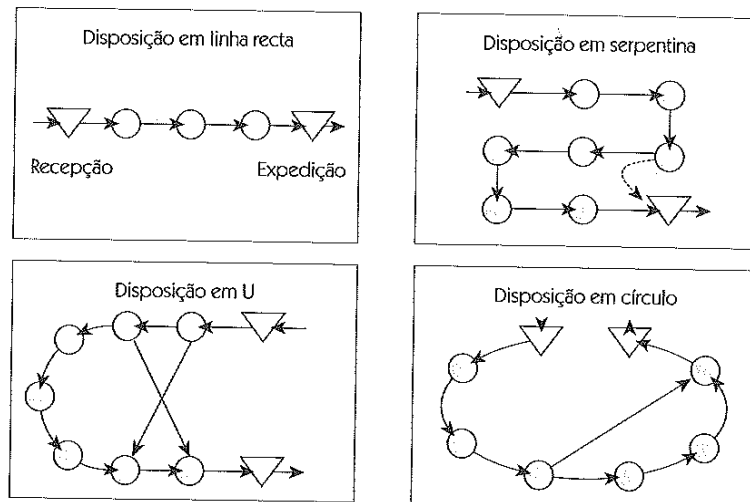


Figura 10- Principais tipos de configuração celular, adaptado de (Courtois, Pillet, & Martin-Bonnefous, 2007)

A célula de fabrico em “U” é das mais vistas hoje em dia em ambientes fabris e é extremamente interessante no que concerne à produção de pequenas e médias séries. As principais vantagens deste tipo de configuração, prende-se com a comunicação entre os colaboradores da célula ser mais fácil. A proximidade destes, podendo ser antecipado qualquer problema., a facilidade na passagem de numerosas gamas na célula, a facilidade da variação da capacidade da linha, através da variação do nº de operadores presentes, a unicidade da zona de descarga de matéria-prima, que difere com a saída dos produtos acabados e diminuindo a movimentação dos materiais são as grandes vantagens deste tipo de configuração (Courtois, Pillet, & Martin-Bonnefous, 2007).

No geral, as células de fabrico são caracterizadas por aliar as vantagens associadas às implantações homogéneas e em linha. Estas vantagens estão associadas à proximidade dos recursos, à produção de várias gamas de produto (flexibilidade), o controlo da qualidade e um maior aproveitamento do espaço. Para além disso, este tipo de implantação facilita a comunicação entre colaboradores e potencia o trabalho em equipa (Xambre, 2013).

Implantações por posição fixa

Segundo Xambre (2013) este tipo de implantação é caracterizado por ser utilizado na produção de produtos de grandes dimensões, em que os recursos que dão apoio no processo de fabricação se movimentam ao longo do processo, consoante as etapas de construção do produto. Segundo Dira (2007) a produção de um avião ou um navio são exemplos de produtos típicos para este tipo de implantações. Pode-se concluir que este tipo de implantação fabril, está associado a um fluxo de produção por projeto (Courtois, Pillet, & Martin-Bonnefous, 2007).

Após esta breve explicação do tipo de implantações fabris que originam diferentes fluxos de produção, ou vice-versa, é facilmente perceptível que grande parte das indústrias dos dias de hoje preferem organizar-se por um modelo misto de tipos de produção (Figura 11). Isto significa ter uma produção em linha para grandes séries, uma secção homogénea para a produção de pequenas séries e um setor com produção celular com o foco para a produção de séries médias.

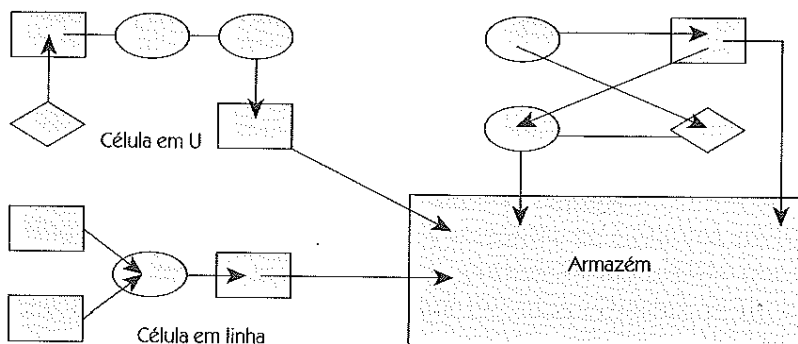


Figura 11 - Implantação mista, adaptado de (Courtois, Pillet, & Martin-Bonnefous, 2007)

2.6.1 Métricas de desempenho

Na Tabela 3 pode-se encontrar alguns dos indicadores de desempenho para se analisar um sistema de produção.

Tabela 3 - Indicadores de Desempenho de um sistema produtivo, adaptado de (Pinto, 2006)

Indicador de Desempenho	Breve descrição
Tempo Padrão	Tempo de referência para a execução de uma tarefa. Refere-se a um tempo obtido junto do colaborador, a trabalhar a um ritmo normal e em condições de trabalho bem definidas.
Disponibilidade	Disponibilidade = Tempo útil / Tempo Disponível. Tempo Disponível = Tempo Total – Tempo de pausas programadas (pausas de almoço e lanche). Tempo Útil = Tempo – Tempo de paragens não programadas (avaria de máquinas).
Capacidade	Tempo Total Disponível = N° de Operadores * Tempo Disponível. Capacidade = Tempo Total Disponível * Disponibilidade * Eficiência.

Indicador de Desempenho	Breve descrição
Carga	Carga = Quantidade a realizar * Tempo Padrão.
Taxa de utilização	Utilização = Carga / Capacidade.
Tempo de Ciclo (TC)	O TC corresponde ao tempo entre a produção de unidades sucessivas à saída da linha. TC = Tempo Disponível / Quantidade produzida na linha.
<i>Takt Time</i>	<i>Takt Time</i> = Tempo Disponível / Produção desejada no sistema de produção, ditada pelo cliente.
<i>Lead Time</i>	É o tempo necessário para um produto percorrer todas as etapas de um processo ou fluxo de valor, do início até o fim.
<i>First-in-First-out</i> (FIFO)	É uma lógica de escoamento de trabalhos numa fila do tipo FIFO. Numa fila ou <i>buffer</i> os artigos seguem a lógica de que o primeiro a entrar é o primeiro a sair, ou seja, saem da fila pela mesma ordem com que entram.
WIP	<i>Work in process</i> . É o <i>stock</i> em vias de fabrico. Resultado de vários fatores, tais como, <i>setups</i> de equipamento, problemas de qualidade e manutenção, mau planeamento, mau balanceamento de linhas, etc.
Produtividade	Produtividade = <i>Input/Output</i> .
Eficiência	Eficiência = resultados alcançados/resultados esperados.
Eficácia	Indica se o sistema atinge os resultados, sem grande preocupação quanto ao modo ou ao caminho seguido.
Tempo de <i>setup</i>	É o período em que a produção é interrompida para que os equipamentos fabris sejam ajustados. O tempo de <i>setup</i> está diretamente relacionado com as variações do produto e o planeamento da produção realizado pela indústria.

Capítulo 3

3 Caso de aplicação: estudo de simulação para análise de processos produtivos

3.1 Empresa

3.1.1 Breve história e apresentação

A Corticeira Amorim, S.G.P.S, S.A. começou a sua história no ano de 1870 com a fundação de uma pequena fábrica, familiar, de produção manual de rolha de cortiça no cais de Vila Nova de Gaia. Em 1922 nasce a empresa Amorim & Irmãos, Lda que deu origem ao universo de empresas do Grupo Amorim, uns anos mais tarde. Entretanto, em 1963 é criada a Corticeira Amorim, uma unidade industrial vocacionada para a produção de granulados e aglomerados de cortiça. O objetivo é transformar e aproveitar os desperdícios gerados pela Amorim & Irmãos, Lda., derivados da fabricação de rolhas, transformando-os em grânulos e estes em valiosos aglomerados, puros e compostos, com os quais passa a ser possível produzir um conjunto de novas aplicações em cortiça.

O negócio da cortiça liderado pela família Amorim exporta vários produtos e cresce cada vez mais, com a compra e criação de algumas empresas, fundamentais nos dias de hoje e naquilo que é o Grupo Amorim.

No ano de 2002 inicia-se o processo de reestruturação industrial no seio da Amorim & Irmão, S.A., centralizando os serviços partilhados (Logística, aprovisionamento, administrativo-financeiro e recursos humanos).

Hoje em dia a Amorim & Irmão, S.A. é constituída por várias unidades industriais, cada uma com o *core business* diferente produzindo os seguintes tipos de rolhas (Amorim & Irmãos, 2012):

- Natural;
- Colmatada;
- Acquamarck;
- Twin Top;
- Neutrocork;
- Spark;
- Bartops;
- Aglomerada;
- Advantec Nature;

Esta unidade de negócio é a maior produtora e fornecedora de rolhas de cortiça a nível mundial, registando uma produção anual de 3 200 000 000 unidades, o que representa cerca de 30% da quota do mercado global da cortiça.

A unidade responsável pela transformação da cortiça bruta em rolha de cortiça 100% natural e respetivos processos de escolha qualitativa da mesma é a Unidade Industrial de Lamas, situada em Santa Maria de Lamas, onde este projeto é realizado. Nesta unidade trabalham cerca de 350 pessoas, representando uma grande fatia, a nível de recursos humanos, das cerca de 930 pessoas da unidade de negócio Amorim & Irmão, S.A.. Para além da produção de rolha natural, também é responsável pela produção de rolha acquamarck e colmatada.

A missão da organização, bem como os seus aspetos estratégicos e os seus valores podem ser consultados na Figura 12.



Figura 12 - Missão, Estratégia e Valores da organização (Amorim & Irmãos, 2012)

3.1.2 O Produto

Para se perceber melhor o processo produtivo é necessário compreender o produto. Em termos de cortiça em bruto (Figura 13), esta está classificada pelo calibre (espessura) e pela classe (qualidade).



Figura 13 - Calibres e Classes de Cortiça

Uma rolha de cortiça, produto, é diferenciado pelo calibre (comprimento x diâmetro) e classe (qualidade). Por isso os tamanhos de rolha mais significativos e representativos na unidade fabril e para este projeto estão representados na Figura 14.

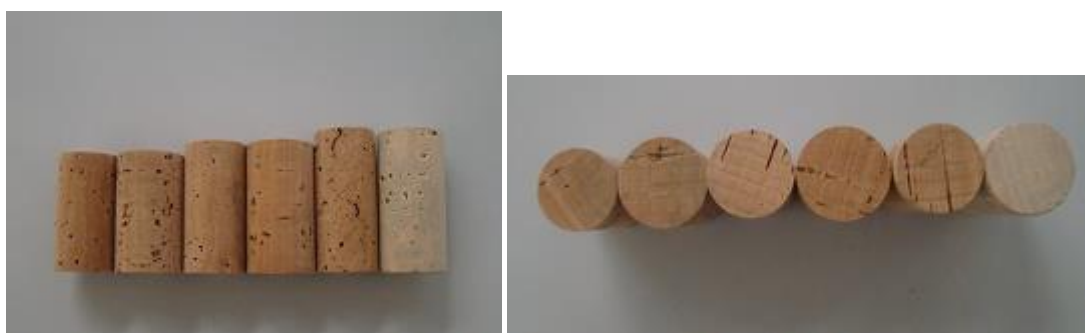


Figura 14 – Calibres de rolha: 45x24, 45x26, 49x24, 49x29, 54x24 e 54x26

3.1.3 Processo produtivo

O processo produtivo da rolha natural de cortiça (Figura 15), passa por várias etapas, desde processos com a matéria-prima, até à rolha (produto). De outra forma, numa primeira fase dá-se a transformação da matéria-prima num produto que é, posteriormente, escolhido, tratado e levado até ao cliente.

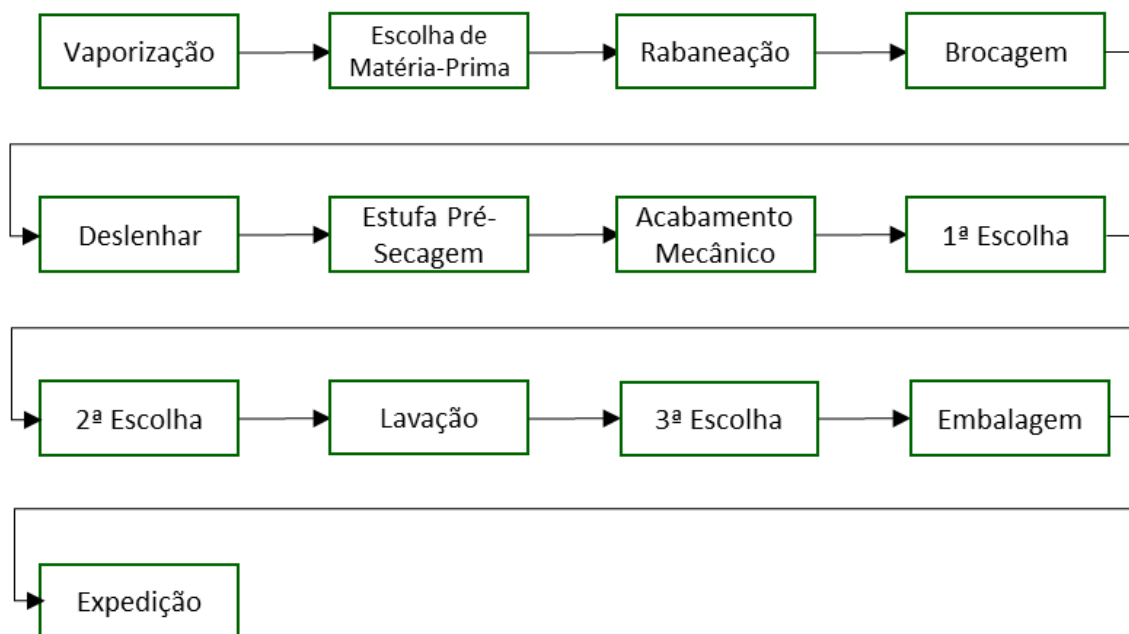


Figura 15 - Fluxograma do processo

Vaporização

A primeira etapa da cortiça passa pela vaporização. Este processo consiste essencialmente na conjugação de vapor húmido e vapor seco, em diferentes ciclos, com o intuito de eliminar as impurezas da cortiça e diminuir o nível de tricloroanisol (TCA) e tornar a cortiça maleável para os processos seguintes, através da humidade adquirida pela cortiça no processo.

Escolha de Matéria-Prima

Aqui, as pranchas são escolhidas consoante a qualidade da matéria e orientada para o produto final, garantindo a maior rentabilidade possível da cortiça. Ou seja de uma paleta de cortiça de um determinado calibre e classe (Figura 13), consegue-se separar em calibres e classes distintas para encaminhar para diferentes tipos de brocas e consequentemente diferentes calibres e classes de rolhas. Esta escolha requer bastante experiência e conhecimento da cortiça, até para retirar pranchas defeituosas do processo, que iriam originar rolhas defeituosas (desperdício). Esta escolha está orientada para o produto final, procurando uma maior rentabilidade da cortiça e indo, também, ao encontro dos valores da organização.

Rabaneação

Neste setor as pranchas de cortiça são rabaneadas em traços, através de uma máquina denominada rabaneadora. Esses traços são cortados com uma folga, em relação à largura, para garantir a dimensão (comprimento) da rolha nas etapas seguintes. Neste processo o importante é o operador evitar defeitos, por forma a não criar constrangimentos a jusante, e abastecer o posto de trabalho (PT) seguinte. Na Tabela 4

pode-se ver qual o aspeto que tem o recurso (máquina), pertencente ao setor e que desempenha a tarefa principal.

Brocagem

Este processo é o responsável pela extração da rolha do traço de cortiça. Para que isso aconteça existem 4 tipos de brocas com diferentes funcionalidades (Tabela 4):

- **Pedal**, onde o operador coloca o tubo da broca em andamento através do movimento da perna. Resumidamente, o operador tem aqui, um controlo total sobre a broca e o traço. Este recurso, prima pela qualidade da rolha e não pela quantidade.
- **Semiautomática**, onde o operador não comanda a broca. Esta possui um andamento automático, no entanto, o operador tem poder de controlo sobre o traço por forma a evitar defeitos da cortiça.
- **Robot**, uma linha automatizada, em que existe 2 robots a abastecer 4 brocas automáticas, sem qualquer intervenção direta do homem. Esta é feita para realizar uma produção em série.
- **Automática**, idêntica à broca anterior, sendo a única diferença o abastecimento, que é realizado por um recurso humano. O objetivo também passa pela produção de grandes volumes de produto.

Neste setor os primeiros dois tipos de broca servem para laborar com maior qualidade, em que a quantidade não é o foco. Ao invés, os dois últimos tipos de broca servem para realizar grandes volumes de produção, onde a qualidade, classe da rolha, não é o foco principal. Para além disso, denotar que neste processo é onde se define o diâmetro da rolha, com a sua respetiva “folga” devido à humidade da rolha.

Deslenhar

No entanto, as rolhas provenientes do setor da brocagem, Robot e Automática, seguem para uma máquina (deslenhar) que retira as rolhas defeituosas, que não irão seguir no processo, pois nunca irão conseguir cumprir com a expectativa do cliente, que é a vedação da garrafa de vinho. Na Tabela 4 pode-se visualizar o recurso associado a este setor.

Estufa Pré-Secagem

Posteriormente as entidades seguem para o processo a jusante, sendo que estas necessitam de estabilizar e secar cerca de 24 horas numa estufa, com o intuito de diminuir a humidade da rolha, critério importante para o controlo de processo e correspondente qualidade do produto (dimensões) no setor seguinte.

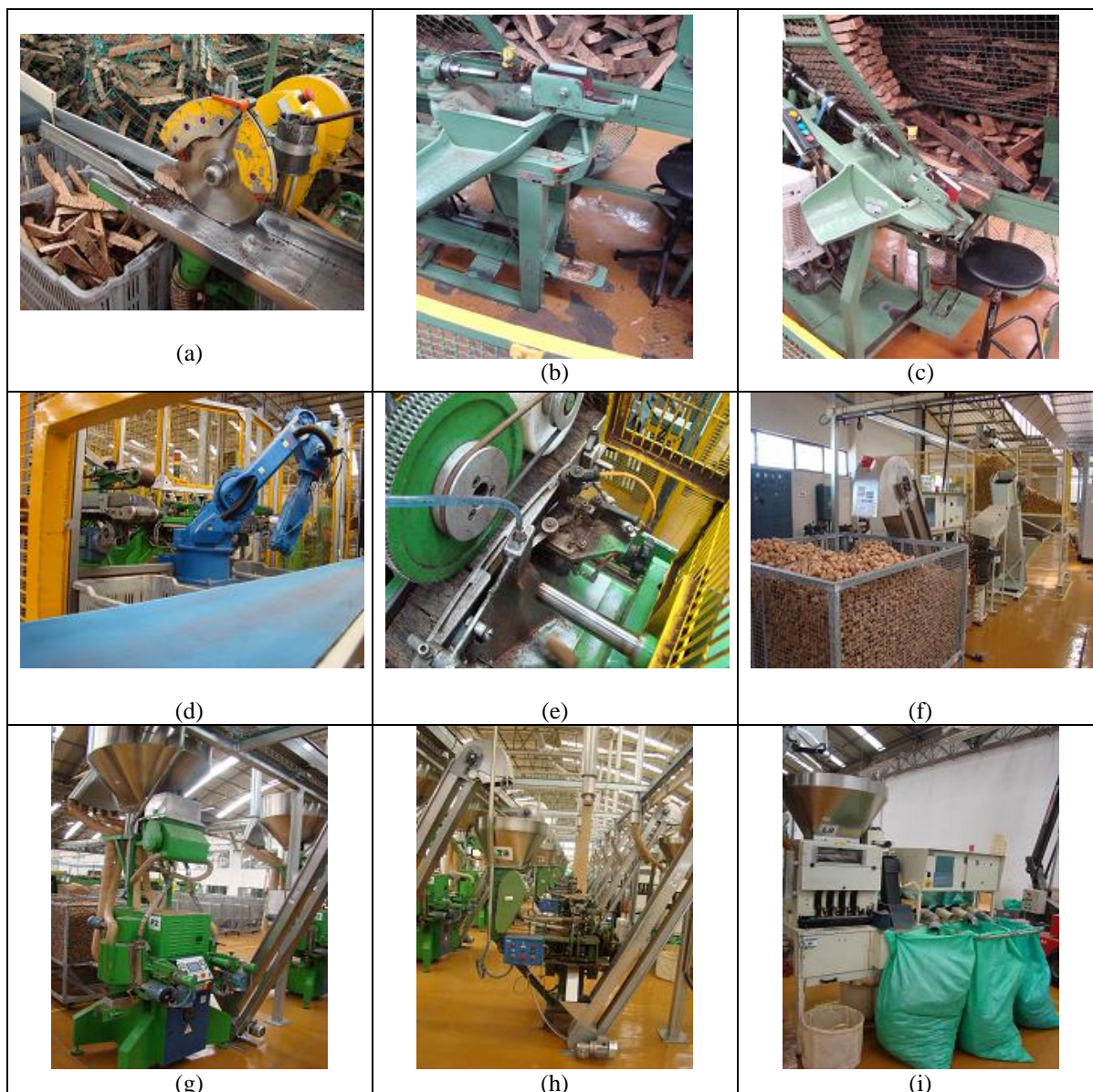
Acabamentos Mecânico I e 1ª Escolha

Com a rolha devidamente “seca” as entidades são processadas em 3 recursos (máquinas) diferentes e ligadas entre si. No primeiro recurso, uma ponçadeira a rolha é retificada para o diâmetro desejado (24 mm ou 26 mm). Logo de seguida, as entidades passam a utilizar a máquina de Topejar, acertando os topos da rolha, tornando-os paralelos e perpendiculares ao corpo da rolha, e de acordo com o comprimento desejado (45 mm, 49 mm ou 54 mm). Até aqui a cortiça, sofreu durante vários processos de transformação. Daqui em diante começa a 2ª fase do processo, maioritariamente composta por processos de escolha.

Ligado aos acabamentos mecânicos I (ponçadeira e topojadeiras) encontram-se as máquinas de 1ª escolha. Neste processo, as rolhas de um determinado tamanho e ordem de fabrico são seleccionadas em 4 classes industriais diferentes. Na Tabela 4 pode-se visualizar os recursos associados a estes setores.

Segue-se, o transporte das rolhas, num *batch* de 40 Milheiros (Mil), feito pelo comboio logístico, para o processo seguinte.

Tabela 4 - Ilustração dos setores / recursos envolvidos nos estudo (a) – Rabaneadora; (b) Broca Pedal; (c) Broca Semiautomática; (d) e (e) Broca Robot; (f) Deslenhar; (g) Ponçadeira; (h) Topejadeira; (i) Máquina de 1º Escolha



2ª Escolha

Neste setor é realizada uma 2ª escolha, onde as entidades passam de classes industriais para classes comerciais, 9 no total. Ou seja, nesta fase dá-se uma afinação da qualidade da rolha, bem definidos comercialmente.

Lavação e Estufas

Agora, as entidades já estão em perfeitas condições para sofrer um processo de lavação, de base aquosa e coloração, onde as rolhas são “limpas”, deixando de apresentar o pó de cortiça no seu corpo, resultante dos processos de transformação anterior e conferindo-lhes uma cor mais agradável aos olhos dos consumidores. Referir, que após este processo de lavação é importante controlar a humidade das mesmas, sendo um fator crítico no desempenho da mesma. Depois da rolha devidamente tratada, segue para outro processo ocupando um recurso, estufas, onde as entidades são sujeitas a diferentes temperaturas e humidades relativas do ar, com o intuito de secar a rolha e fazer uma extração máxima do nível de TCA presente na rolha.

3ª Escolha

Com a rolha devidamente lavada, índices de TCA baixos e controlados e a humidade da rolha dentro dos limites de especificação, urge a necessidade de afinar, uma vez mais, a qualidade da rolha. Para isso, esta é submetida a uma 3ª escolha, efetuada por recursos humanos qualificados para tal. Aqui, o objetivo passa por retirar as rolhas que não pertencem à classe designada pela ordem de fabrico e retirar defeitos que as máquinas de escolha eletrónicas, anteriormente, não detetaram.

Embalagem e Expedição

Após isto, os lotes de rolhas seguem para a embalagem, setor produtivo responsável pelo embalamento do produto segundo as encomendas existentes.

Finalmente, os sacos de rolhas são agrupados numa palete, sendo expedidas e seguindo o seu caminho, até ao cliente final.

3.2 Formulação do problema e planeamento do estudo

Neste trabalho, foram definidas as fronteiras do sistema existente na fábrica, que compreende o setor da rabaneação até à 1ª escolha, inclusive. Estes setores foram escolhidos com a ajuda de analistas experientes da organização (Diretor Industrial e Diretor Adjunto) onde este trabalho decorreu.

O objetivo geral deste estudo passa pela análise e avaliação da atual configuração do sistema de modo a identificar oportunidades de melhoria. Os analistas da Amorim & Irmãos, S.A. preferem dar um ênfase especial à análise da atual configuração, que é relativamente recente, e identificar pequenas melhorias que otimizem a configuração existente.

Sendo uma fábrica com um fluxo de produção descontínuo, que tem em si associado uma implantação homogénea ou por processo é normal que tenha grandes quantidades de *stock* intermédio e consequentemente um *lead time* elevado. O maior problema que à partida parece existir, é um possível desbalanceamento entre processos. Em termos gerais, este estudo vai incidir bastante na análise dos seguintes indicadores de desempenho:

- *Lead Time*;
- Taxas de Utilização dos Recursos;
- Filas de Espera;
- *Input vs Output*

Em termos de recursos necessários, estes passam pela utilização do *software* Arena e de recursos humanos. Este projeto foi realizado com o apoio da direção industrial e com a ajuda e experiência dos encarregados de cada setor, bem como o apoio de colaboradores.

3.3 Recolha de dados e definição do modelo concetual

Primeiramente é preciso conhecer o Sistema que se vai modelar. Este compreende os setores fabris entre a Rabaneação e a 1ª Escolha. Como se pode visualizar no Anexo B o *layout* do sistema a modelar caracteriza-se por seguir um fluxo de produção descontínuo através de uma implantação fabril organizada por secções homogéneas (por processo).

Para ir de encontro aos objetivos do estudo, em termos de modelo de simulação definiu-se que se iria simular um dia de trabalho, durante 1 turno, correspondendo a um horário entre as 8h e as 17h.

No que diz respeito à recolha de dados que serve de *input* ao modelo de simulação, foi feito com a ajuda de uma ferramenta estatística incorporada no software Arena®. Para cada *input* do modelo, foi atribuído um mínimo de 20 valores para cada amostra. Ou seja, a amostra que serve de base para cada TC, tem no mínimo 20 valores recolhido no chão de fábrica. Em seguida, é explicado todo o processo de recolha de dados, bem como a definição do modelo concetual, tal como as simplificações/abstrações necessárias na consecução do objetivo de estudo.

Rabaneação e Brocagem

Estes dois setores estão interligados no sistema real e dependentes um do outro, apesar da função principal deles ser distinta. A rabaneação depende do tipo de broca que lhe sucede. O primeiro setor trabalha com cortiça em bruto (pranchas) que chegam de dois processos (a montante) distintos. Após a chegada existe a estabilização da cortiça, durante um dia de trabalho. Ou seja para o modelo impõe-se uma série de questões, desde a quantidade de paletes que chegam ao setor da rabaneação, a quantas pranchas de cortiça tem cada palete e tempos de processamento, consoante o calibre da cortiça. Ora bem, como o objetivo de estudo é

avaliar este setor em diante, e, como as paletes estão um dia em estabilização, na recolha de dados definiu-se como entrada para o modelo de simulação o nº de paletes consumidas pelo sistema real no setor rabaneação e não o nº de paletes que chega ao setor. Na Figura 16 pode-se perceber melhor a diferença entre estes 2 casos. No Anexo A (Tabela 8) está especificado o nº de paletes consumidas, retiradas através do histórico recolhido pelo controlo de produção da fábrica.



Figura 16 - Paletes Consumidas vs Chegada de paletes ao setor

No entanto, em relação à segunda questão pertinente, que consiste em quantificar o nº de pranchas de cada palete, chegou-se à conclusão que é impossível realizar essa contagem, pois não existe uma prancha igual (heterogeneidade), tendo esta um formato e tamanhos totalmente diferentes. Para além disso, a altura de uma palete nem sempre é igual. Contudo, e sabendo de antemão que o processo seguinte, brocagem, consiste na transformação de cortiça (traços) em rolha, decidiu-se que a melhor opção seria fazer uma relação de peso (quilograma(Kg)) entre cortiça em bruto, traços de cortiça e rolha (Figura 17).



Figura 17 - Pranchas de cortiça, traços e rolhas

Tendo por base este pressuposto, já existem dados do controlo de produção (históricos) suficientes para sustentar e validar esta simplificação. Existe desde logo uma pesagem, líquida, de todas as paletes de cortiça que entram no setor, podendo ser utilizados estes dados para o ajuste de uma distribuição estatística teórica ou empírica (via *Input Analyser*) que permita gerar adequadamente o peso de cada palete, que consta no Anexo A (Tabela 8). Agora, urge um outro problema que é o tempo de processamento da máquina/homem do setor. Sabendo que a entidade de entrada no modelo é agora o número de Kg presentes numa palete, o processo terá de consumir uma unidade de cada vez. Ou seja, imediatamente antes do processo, a entidade passa a ser 1 Kg de cortiça. Como referido anteriormente, é complicado encontrar um padrão para a prancha de cortiça. Sabendo que o *output* da rabaneação são os traços de cortiça, o tempo de processamento a considerar para o modelo equivale ao corte/rabaneação de um determinado nº de traços, correspondentes a 1 Kg de cortiça. Esta informação encontra-se na Tabela 5. Para que esta simplificação não deturpe o que sucede no sistema real e, sabendo que os traços não são todos iguais, foi pedida a colaboração, junto do encarregado deste setor, com bastante experiência, que recolhesse um conjunto de traços de cortiça, com um tamanho médio, para se conseguir saber a quantos traços de cortiça, corresponde a 1Kg. Na Tabela 5 também consta a quantas rolhas corresponde 1Kg de cortiça em bruto. No que concerne ao tempo de rabaneação, foi feita uma outra simplificação. Sabendo que o operador tem a palete de cortiça junto dele, este realiza um *picking*, retirando as pranchas, para que possa realizar a sua função, rabanear. Como é óbvio este tempo acaba por ser um tempo ocioso da máquina. No entanto, para os objetivos de estudo, não fazia sentido fazer esta separação. Como o operador está diretamente ligado à máquina, considera-se que este processo de *picking* faz parte do TC da tarefa.

Tabela 5 - Relação Kg cortiça (nº de traços e rolhas)

Calibre de cortiça	Nº traços (1Kg)	Nº de rolhas
12/14	9	63
13/15	7	59
18/24	5	49

O setor da rabaneação, possui 11 recursos que alimentam diretamente o setor seguinte (brocagem) e 4 recursos que rabaneiam para um *container*, servindo de apoio ao abastecimento das brocas do tipo robot e automática, pois existe um desfasamento dos tempos de ciclo (Figura 18).



Figura 18 - Container de traços de cortiça

No que diz respeito às falhas deste processo, ou seja, o tempo ocioso da máquina, foi observado junto dos colaboradores, encarregado do setor e também pela análise visual e presencial que o único ponto que se deveria considerar era a limpeza do setor (Anexo A - Tabela 11).

Como já foi explicado anteriormente, existem diferentes tipos de cortiça (calibre e classe) e rolha. O processo rabaneação abastece o PT brocagem, sendo que este possui vários tipos de brocas e cada um trabalha um tipo de cortiça pré-definido (calibre e classe) diferente. Com isto, sabe-se que os tempos de processamento, por Kg, não são iguais em todas as máquinas da rabaneação e da brocagem. Para resolver este problema foi realizada uma análise ABC ao histórico de consumo de cortiça em cada máquina de rabaneação e correspondente tipo de rolha fabricada. As conclusões desta análise encontra-se na Tabela 6 - Calibres Rabaneados, análise ABC Tabela 6. Referir que para esta análise a classe da cortiça não influencia os tempos de processamento.

Tabela 6 - Calibres Rabaneados, análise ABC

Máquina da Rabaneação	Tipo de Broca (processo a jusante)	Calibre de Cortiça Rabaneado	Calibre de Rolha Brocada
A a F	Pedal e Semi-automática	12/14	45x24
G a J	Robot	13/15	49x24
K	Automática	18/24	45x26
l a 4	Robot	13/15	49x24

Em relação ao setor da brocagem tem de se ter em conta que os 4 tipos de brocas existentes possuem uma tarefa semelhante, diferindo o tipo de cortiça que é brocada e consequentemente diferentes calibres de rolhas, o que influencia o tempo de processamento.

Broca Pedal e Semiautomática

Neste tipo, foi simplificada a questão do *picking* dos traços de cortiça (Figura 19) e análise da qualidade do traço pelo operador, considerando que estas duas tarefas fazem parte do TC da brocagem, propriamente dita. Ou seja, segundo a Tabela 5, foi medido o tempo que demora a brocagem de 63 rolhas, correspondente a 9 traços de cortiça em bruto. No Anexo A (Tabela 9) encontram-se informações sobre o nº de linhas de produção afetas a este tipo de broca, bem como o nº de potos de trabalho (PT) de cada linha e o respetivo TC de cada posto.



Figura 19 - Picking dos traços de cortiça

Determinou-se que este recurso possui 2 falhas relacionadas com a afiação da broca e com a colocação de óleo alimentar. No Anexo A (Tabela 11) pode-se ver como se definiram estas falhas.

Broca do tipo “Robot”

A broca deste tipo está presente nas linhas G a J (Anexo A - Tabela 9), em que cada uma delas possui 4 postos de trabalho, em que cada 2 destes são abastecidas por um robot automatizado. Ou seja, torna-se necessário extrair os tempos de ciclo referentes a estes 2 recursos, para o processamento da entidade. Como um dos objetivos do estudo passa pela análise das filas de espera e taxas de utilização, é importante extrair o TC do abastecedor (robot) e colocar uma restrição de capacidade na fila de espera da broca. Na Figura 20, pode-se visualizar que essa restrição acontece pelo espaço disponível para a fila.



Figura 20 - Fila de Espera do Abastecedor e Broca, respetivamente

No que concerne a simplificações neste tipo de broca e tendo sempre por base os objetivos do estudo, passa por “ignorar” o operador que está encarregue de vigiar uma linha de produção, pois a tarefa é proceder a algumas resoluções de avarias no abastecedor (Robot). Resumidamente, o operador acaba por ter pouca influência, direta, no desempenho destes 2 recursos.

No que diz respeito às falhas, tentou-se quantificar os encravamentos do abastecedor (Robot), ao contabilizar o TC para 1 Kg de cortiça, com e sem encravamentos deste. A falha é dada pela diferença dos dois tempos. No que diz respeito à broca em si, só se considerou o afiamento que é dado ao recurso.

Broca do tipo Automática

Este tipo de broca representa apenas uma linha de produção (K) constituída por 4 brocas (automáticas), sendo que estas são abastecidas por dois recursos humanos. Ou seja, no caso anterior era 1 Robot que abastecia 2 brocas, enquanto, neste caso é o recurso humano que abastece 2 brocas. Obviamente os tempos de processamento diferem do caso anterior, pois o calibre da cortiça não é o mesmo e o abastecedor é diferente. No entanto, foi retirado o TC para a entidade em vigor, para os 2 recursos.

Neste tipo de broca, também é importante incutir o mesmo tipo de restrição de capacidade na fila de espera da broca.

O afiamento à broca, foi a única falha detetada e quantificada, deste recurso.

Todos os tempos de ciclo dos recursos necessários estão presentes no Anexo A (Tabela 9). Os setores da Rabaneação e Brocagem são dependentes um do outro.

Deslenhar

As máquinas deste setor apenas estão presentes nas linhas G a K. Nas primeiras 4, cada uma delas possui 2 máquinas, sendo que a última linha (K) possui apenas 1 máquina. Ou seja, uma linha de broca do tipo Robot abastece 2 recursos do deslenhar o que implica uma distribuição das entidades (rolhas) pelos 2 recursos, enquanto que a broca do tipo automática abastece apenas 1 recurso do deslenhar. Com a ajuda do

encarregado do setor e dos especialistas da empresa decidiu-se arbitrar que num turno de produção, cada máquina é abastecida com 50% da quantidade produzida pela broca do tipo robot. Na última linha, tudo o que é produzido é destinado para o mesmo recurso. Referir, que cada máquina, possui um *container*, móvel, com capacidade para cerca de 40Mil, o que cria alguma flexibilidade na utilização das máquinas (Figura 21).

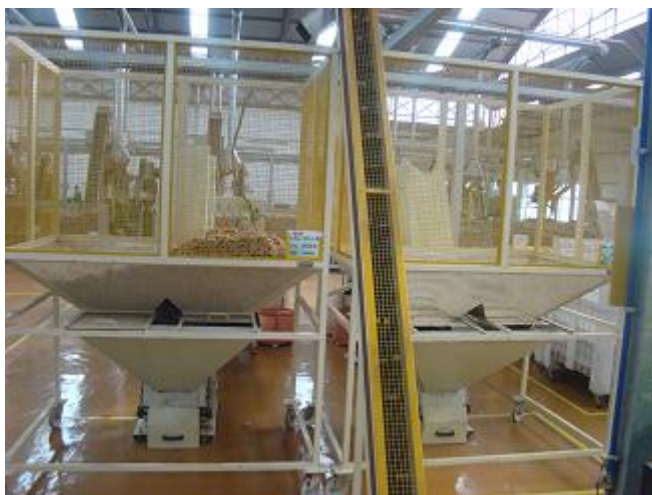


Figura 21 - Container amovível que liga os setores da broca ao deslenhar

O TC está inscrito no Anexo A (Tabela 9), e refere-se ao tempo de escolha por entidade (rolha). As rolhas provenientes deste recurso, agrupam-se num *batch* de 28Mil, onde se acumulam num cesto metálico (Figura 22).



Figura 22 - Cesto Metálico de 28 Mil

A falha deste recurso, está associada à troca de um cesto cheio, por um vazio. No Anexo A (Tabela 11) pode-se verificar quantitativamente esta falha.

Deste setor em diante, a entidade rolha não irá variar consoante o calibre e classe, pois esta diferenciação não tem repercussões nos objetivos de estudo.

Estufa Pré-Secagem

Este processo serve apenas para cumprir um requisito da entidade, relativo à sua humidade. Apesar de as rolhas serem transportadas pelo comboio logístico para a estufa e após 24h novamente transportadas, para servirem de *input* aos acabamentos mecânicos I, foi simplificada a questão do transporte, pois o objetivo do estudo, não passa por analisar o comboio logístico, pois este tem um circuito que ultrapassa a fronteira determinada para este estudo. Ou seja, para simplificar, apenas se colocaram as rolhas num processo durante 1 dia de trabalho. Para este processo não existem falhas a considerar.

Acabamentos Mecânicos I

Este setor é constituído por 2 recursos, ligados por um *conveyor*, uma máquina em que a função é polir a rolha e outra em que a função é topejar. O primeiro recurso é abastecido, através de um *conveyor*, para uma moega que serve de alimentação à máquina de polir. O tempo de processamento desta máquina encontra-se no Anexo A (Tabela 10), em que cada recurso possui um posto paralelo, ou seja, com capacidade duplicada. Como o objetivo de estudo passa por estudar, também, as filas de espera dos recursos, decidiu-se separar as 2 saídas de cada máquina, com o objetivo de conseguir algum detalhe desta fila de espera. De seguida as rolhas, devidamente polidas, seguem para a máquina de topejar, alimentada de igual forma ao recurso anterior. O Input a esta máquina é realizado com 2 postos paralelos, tendo sido feita a mesma lógica e pelas mesmas razões, quando comparado com o recurso anterior. O output desta máquina, é igual ao da máquina de polir, visto que após a retificação mecânica da rolha, esta segue para um processo de escolha, também ele ligado por um *conveyor*.

O abastecimento às máquinas, realizado pelos *conveyors*, bem como as moegas que servem de *batch* para o abastecimento das máquinas, são elemento de abstração do modelo de simulação, visto que não influenciam os objetivos de estudo (Figura 23). Em relação a isso, irá impor-se uma restrição, em que cada fila, apenas pode possuir um cesto (28Mil).



Figura 23 - Coveyor e *batch* de suporte à alimentação da máquina

Neste setor, apesar de existir certo tipo de encravamentos e afetar a produtividade da máquina, não foi considerado relevante, pois existem 2 operadores em que a sua única tarefa é desencravar o recurso. Para além disso, a quantificação deste encravamento tornou-se difícil, pois a máquina não tem um padrão de encravamento e o tempo de correção desta falha, varia consoante a posição do operador (distância) no setor.

1ª Escolha Eletrónica

Aqui, o nível de abstração não foi significativo, apenas se simplificou a questão do *conveyor* de abastecimento e do *batch* que é feito através da moega de abastecimento. Este não tem implicações significativas, visto que a função deste é prevenir possíveis falhas das máquinas anteriores, com o intuito de os processos a jusante não pararem. Como os tempos de ciclo entre os 3 processos não está balanceado, a moega também serve de “almofada” de proteção contra esse mesmo facto. No entanto no modelo, irá conseguir-se extrair informação em relação a esse mesmo desbalanceamento, ao analisar a taxa de utilização da máquina e filas de espera. No Anexo A (Tabela 10) consta as informações do TC desta máquina, por entidade (rolha). Salientar que a linha 7 não possui máquina eletrónica, por questões de fluxo de produção que ultrapassam a fronteira do sistema definido para este estudo. Para este recurso não foi considerada qualquer falha.

3.4 Construção do modelo lógico e verificação

O modelo de simulação lógico foi criado com base no modelo concetual desenhado anteriormente. Para se perceber melhor como está montado o modelo, irão ser abordados os módulos mais usados e pertinentes na construção do modelo de simulação deste projeto.

O *software* Arena® tem por objetivo base analisar um dado sistema real e avaliar o impacto dos cenários alternativos. Este simulador é bastante flexível, ao ponto de se poder modelar com um nível de detalhe bastante elevado. Tipicamente o Arena® é útil nos seguintes casos:

- Análise detalhada de qualquer tipo de sistema de fabrico;
- Análise de um sistema de gestão, bem como do atendimento ao cliente;
- Análise de cadeias de abastecimento que incluam o armazenamento e transporte de matérias. Por sua vez, também é capaz de analisar um sistema de logística;
- Desempenho e previsões de um sistema, tal como custos, produtividade, tempos de ciclo e taxas de utilização;
- Identificação de recursos gargalos;

- Planeamento dos recursos humanos necessários, bem como os requisitos dos equipamentos ou dos materiais do sistema.

Módulo Create

Como primeiro passo no modelo de simulação, usou-se o módulo *create*, em que se especificou a entidade que chega ao sistema, bem como a frequência desta chegada. Como se pode observar e como já foi explicado no modelo concetual, este módulo garante que de 10h em 10h é criado um *input* de paletes no sistema. Como o tempo de simulação definido, anteriormente, é de 9 horas, garante-se que o setor tem paletes de cortiça suficientes para trabalhar, condizendo com o sistema real.

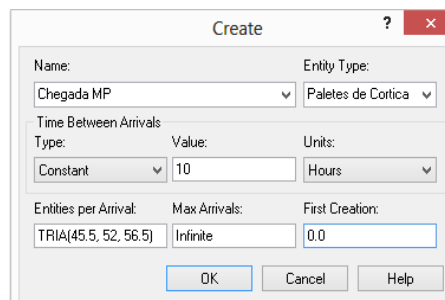


Figura 24 - Módulo Create do modelo

Módulo Decide

Seguidamente, a entidade segue para um módulo, *decide*, onde as paletes de cortiça são reencaminhadas para o recurso que as irá consumir. No entanto, para assegurar que o abastecimento das paletes aos postos de trabalho são feitos unitariamente, foi colocada uma restrição no módulo em questão, que consiste no avanço da entidade só e só se o nº de entidades em fila de espera e em *work in process* (WIP) for igual a zero (Figura 25). Este módulo é usado no modelo de simulação para que se possa reencaminhar as entidades e impor as restrições de capacidade, condizentes com o sistema real.

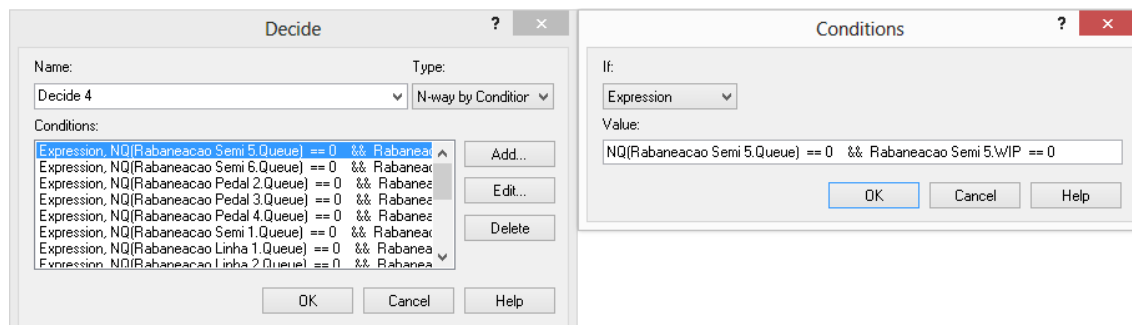


Figura 25 - Módulo Decide

Módulo Assign

Este módulo é usado para atribuir novos valores para as variáveis, atributos de entidades, tipos de entidade, imagens para as entidades ou outras variáveis do sistema. Neste modelo, o módulo *Assign* é usado para alterar as entidades, as respectivas imagens ao longo do modelo e determinar o *lead time*. Um exemplo pode ser visto na Figura 26.

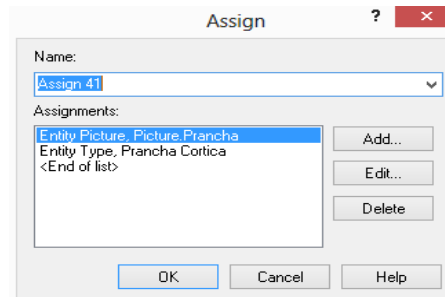


Figura 26 - Módulo *Assign*

Módulo *Separate*

Este módulo pode ser usado tanto para replicar uma entidade de entrada em várias “cópias” ou para dividir um lote. No caso deste projeto, este módulo é usado para transformar as paletes de cortiça que entram no sistema até se obter a entidade rolha. Para além desta função, o módulo *separate*, também é usado para separar os *batches* existente ao longo do modelo.

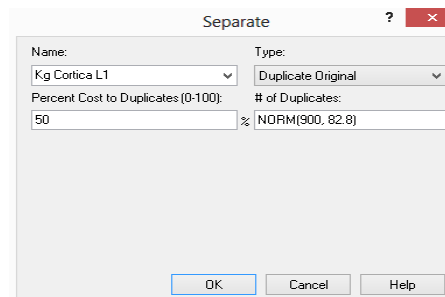


Figura 27 - Módulo *Separate*

Módulo *Batch*

Este módulo é concebido para agrupar entidades dentro do modelo de simulação. Neste caso, este módulo é usado para representar os *batches* que são feitos ao longo do sistema. Um exemplo (Figura 28), é o agrupamento de 28Mil de rolhas para realizar o *batch* que é feito após o processo do deslenhar.

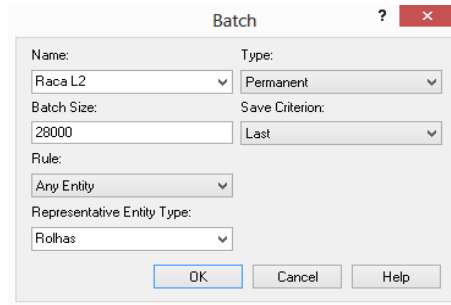


Figura 28 - Módulo *Batch*

Módulo *Process*

Este módulo caracteriza-se como o principal método de processamento na simulação. O tempo de processo é alocado a uma só entidade de cada vez e pode ser considerado como valor acrescentado, sem valor acrescentado, de transferência, de espera ou outro. Um exemplo deste módulo (Figura 29), é o processo que está associado à Broca do tipo Robot (Linha G).

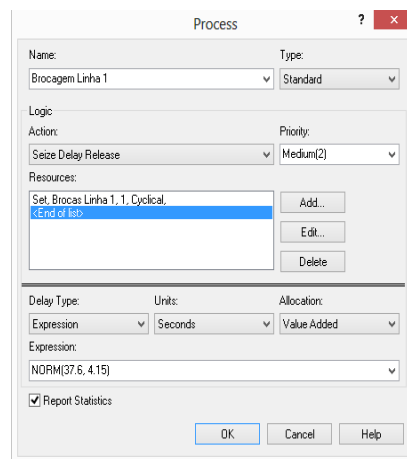


Figura 29 - Módulo *Process*

Módulo *Failure*

O módulo *failure* utiliza-se para atribuir uma ou várias falhas a um determinado recurso. Quando uma falha acontece, todo o recurso falha. Um exemplo para este módulo, é o afiamento que tem de se dar a todas as brocas. Para além desta, no modelo de simulação existem mais falhas a ocorrer nos diversos recursos (Anexo A - Tabela 11).

Módulo *Record*

Este módulo é usado para recolher determinadas estatísticas do modelo de simulação. O tempo entre saídas, estatísticas da entidade (de tempo, custos, etc), observações gerais e estatísticas de intervalo são

exemplos de aplicação deste módulo. Para além disso, dá a possibilidade de contar as entidades que vão passando pelo módulo, o que ajuda bastante na construção do modelo de simulação. Um exemplo deste módulo pode ser visto na Figura 30, em que conta as rolhas brocadas da linha A.

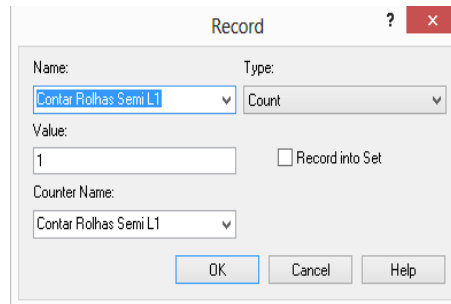


Figura 30 - Módulo Record

O modelo lógico foi sendo contruído e verificado, etapa a etapa. Após a construção de cada setor, foram realizadas várias verificações dos indicadores de desempenho por forma a garantir que a lógica do modelo estava a ser bem implementada. Em paralelo, no início e fim de cada processo colocaram-se contadores para ir fazendo a validação do modelo. Como abordado na revisão de literatura, vários autores abordam a questão da verificação em conjunto com a validação, o que em termos práticos faz sentido.

Após fazer chegar ao modelo as entidades, é preciso distribuí-las unitariamente pelas bancas da rabaneação e verificar se esta lógica estava a ser bem implementada, pois afeta os indicadores de desempenho. Primeiramente foi contruído o modelo correspondente às linhas (A a F) da rabaneação e da broca e realizada a verificação da lógica que foi descrita no modelo concetual. Na construção desta primeira etapa não houve grandes dificuldades. Na Figura 31 pode-se visualizar o modelo lógico correspondente ao que foi descrito.

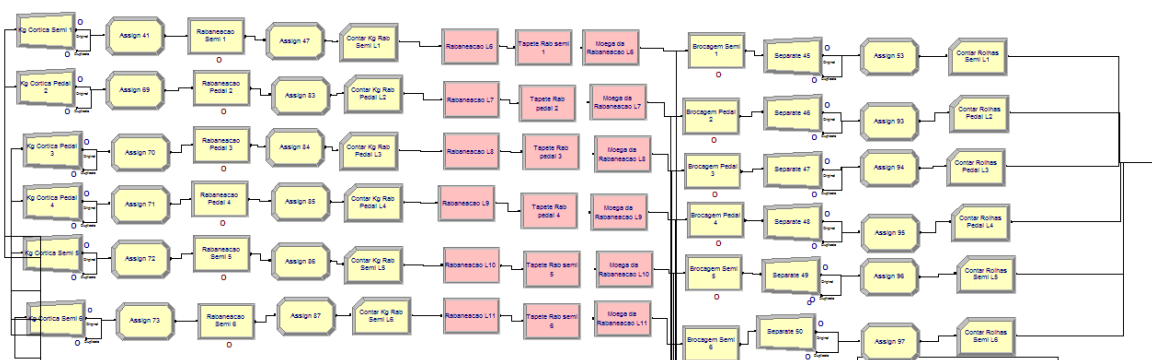


Figura 31- Modelo da Rabaneação à Broca (Linha A a F)

Seguidamente, procedeu-se à construção das restantes linhas de produção (G a K) e das rabaneadoras de apoio (1 a 4). Na modelação deste setor, surgiram algumas dificuldades na elaboração da lógica de abastecimento da broca através do robot. Esta lógica compreendia a restrição do nº de traços na fila

de espera da broca. Após várias tentativas conseguiu-se implementar esta lógica, tendo sido verificada com sucesso. Adicionalmente, foram modeladas 4 rabaneadoras de apoio com o intuito de abastecer o setor da brocagem, em determinados pontos no tempo em que existe falta de entidades nas filas de espera da brocagem. No sistema real, as linhas G a K são as que consomem grande parte da quantidade dos traços de cortiça feitos nessas rabaneadoras de apoio. Na Figura 32 pode-se visualizar como estes setores estão modelados no *software* Arena®.

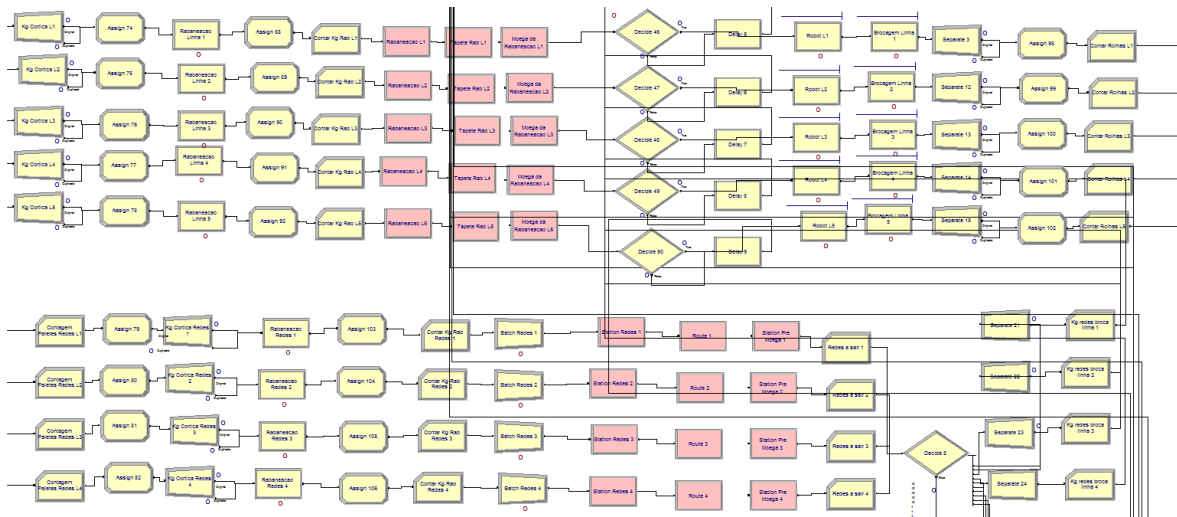


Figura 32 - Modelo da Rabaneação à Broca (Linha G a H) e rabaneação de apoio (1 a 4)

Após a verificação lógica dos setores das brocas e da rabaneação, a próxima etapa do modelo de simulação passou pela construção e verificação do setor do deslenhar. Na Figura 33 está representado o modelo de simulação implementado para este setor, tendo por base os pressupostos assumidos no modelo concetual. No output das máquinas do deslenhar, para além da saída principal (Rolhas “Boas”) acumular num *batch* de 28Mil, retirou-se do processo a apara e o repasse proveniente desta máquina, o que representa, respetivamente, cerca de 1.05% e 3.82% do volume total do *input*.

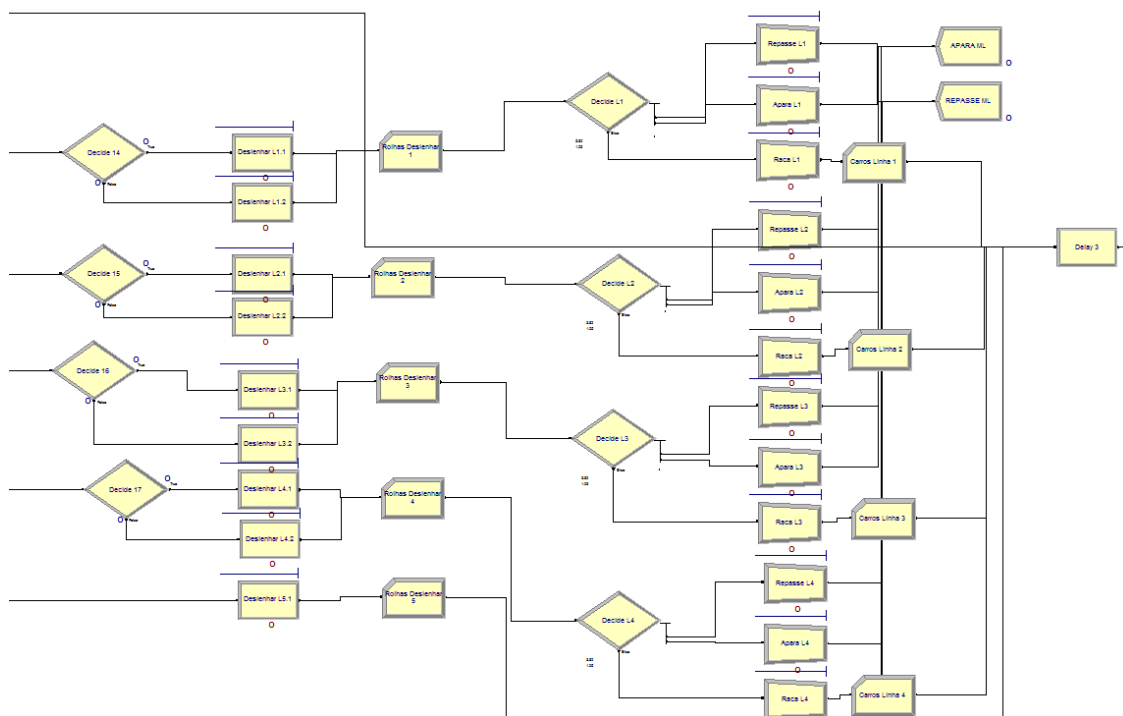


Figura 33 - Modelo do setor Desenhar e Estufa de Pré-Secagem

Após as rolas passarem pela estufa, é preciso reencaminhá-las para o processo seguinte. Esta lógica de abastecimento é feita à unidade, ou seja, cada máquina só deve possuir 1 contentor de cada vez na sua fila de espera. Para isso utilizou-se um módulo *Decide* para implementar esta lógica. Após o devido abastecimento das máquinas, modelou-se aquilo que já estava definido no modelo concetual. O único ponto a salientar, é que após o último processo deste projeto (1ª Escolha) decidiu-se separar o *output* pelas classes de rolas, existentes no sistema real, num *batch* de 10Mil cada. Na Figura 34 consta uma das linhas de produção respeitantes aos setores dos AM i e 1ª Escolha. Em termos práticos, este exemplo replicou-se para as restantes linhas e verificou-se a lógica, tal como nas etapas anteriores.

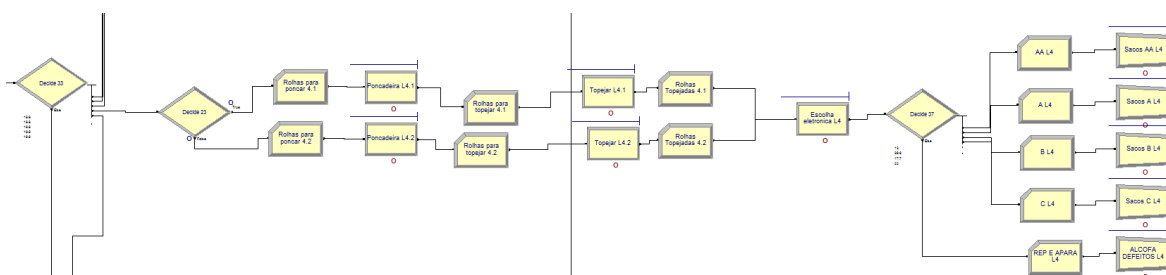


Figura 34 - Modelo do setor AM I e 1ª Escolha

Por fim, termina-se com o módulo *Dispose* que tem por objetivo remover as entidades do sistema e recolher as estatísticas respeitantes a cada entidade.

3.5 Realização de teste piloto e validação do modelo

No passo anterior, fez-se a verificação do modelo lógico, consoante as etapas de construção descritas. Em termos práticos, a validação do modelo foi feita através da comparação dos dados de consumo e de produção dos recursos (*output*) do sistema real com os resultados provenientes dos testes piloto que foram realizados durante as etapas de construção do modelo. Esta metodologia, acaba por dar mais alguma confiança e credibilidade ao modelo lógico.

Como já foi referido, em relação à validação do modelo, aquando da construção por etapas, foi sendo feita a comparação dos *outputs* do modelo com os do sistema real até que tudo fosse validado. O cuidado na recolha de dados e na definição do modelo concetual foi crucial para que nesta validação, se fizessem poucos ajustes.

Concluiu-se, por tentativa e erro que um número aceitável de replicações seria de 20. Este número de replicações permite obter, para a maior parte das medidas de desempenho definidas, intervalos de confiança a 95% (construídos pelo software) com uma amplitude aceitável.

3.6 Desenho de experiências

Antes da execução do modelo existem parâmetros que se devem definir, alguns já pensados e testados nos passos anteriores.

- Comprimento temporal da execução do modelo de simulação é de 27 horas
- Tempo de aquecimento do modelo de simulação é de 18 horas
- O número de replicações do modelo é de 20, pela lógica apresentada anteriormente.

Em relação às medidas de desempenho, conforme o estipulado anteriormente, este estudo deve responder às seguintes questões:

- Quais os recursos gargalos que existem?
- Em que processos acumula grande parte da produção e porquê?
- Onde existe potencial de melhorias no fluxo produtivo?
- Existe um balanceamento entre setores?
- Qual o tempo que demora as paletes de cortiça, até se transformarem em rolhas (devidamente separadas por classe)?
- Qual o estado do sistema na passagem de turno?

Para dar um foco a estas questões, determinou-se que tem de ser feita uma análise aos seguintes indicadores de desempenho do sistema:

- Taxa de utilização de todos os recursos de todos os setores;
- Filas de espera (dimensão e tempo);
- *Input vs Output*;
- *Lead Time*.

3.7 Execução do modelo de simulação e análise de resultados

Neste capítulo irão ser apresentados os resultados referentes às métricas de desempenho definidas e alinhadas com o objetivo do estudo de simulação, bem como a respetiva animação do modelo de simulação, num determinado ponto discreto no tempo. Esta análise irá ser elaborada por setor, por forma a esmiuçar cada um deles separadamente dos restantes. Posteriormente, irá ser feita uma análise dos indicadores entre setores e de uma forma mais abrangente.

Um ponto importante a ter em conta na análise dos indicadores é o tipo de fluxo de produção e de implantação fabril. Visto de uma forma global o sistema simulado, corresponde a um processo produtivo descontínuo com uma implantação fabril organizada por secções homogéneas (por processo). Ou seja, acaba por ser importante o balanceamento entre setores, por forma a melhorar o *lead time* do sistema e minimizar os *stocks* intermédios ou produto em curso de fabrico. Salientar, que no sistema simulado, a filosofia *push* é a seguida, pelos setores fabris em questão.

Em termos globais, o *lead time* do sistema modelado é de cerca de 1260 ± 28 minutos. Se deste tempo se retirar as 9 horas (540 minutos) referentes aos processo da pré-secagem, em que as entidades se encontram paradas a estabilizar a humidade, quer dizer que 720 minutos (12 horas) é o tempo que a rolha demora nos restantes processos. A análise deste indicador será abordada após a análise de cada setor, por forma a compreender-se o porquê deste lead time elevado.

Rabaneação

Neste setor existe uma chegada de paletes de 50.65 ± 0.93 unidades. Destas paletes, cada PT do setor consome quantidades diferentes, consoante o tipo de cortiça que trabalham. Através da Figura 35 pode-se verificar que o consumo de paletes varia um pouco consoante o PT, o que é normal, visto que se incutiu essa diferenciação no modelo de simulação. Visualmente, pode-se concluir que o setor se encontra relativamente balanceado. Para isso basta comparar o *input* e *output* de cortiça em cada linha de trabalho.

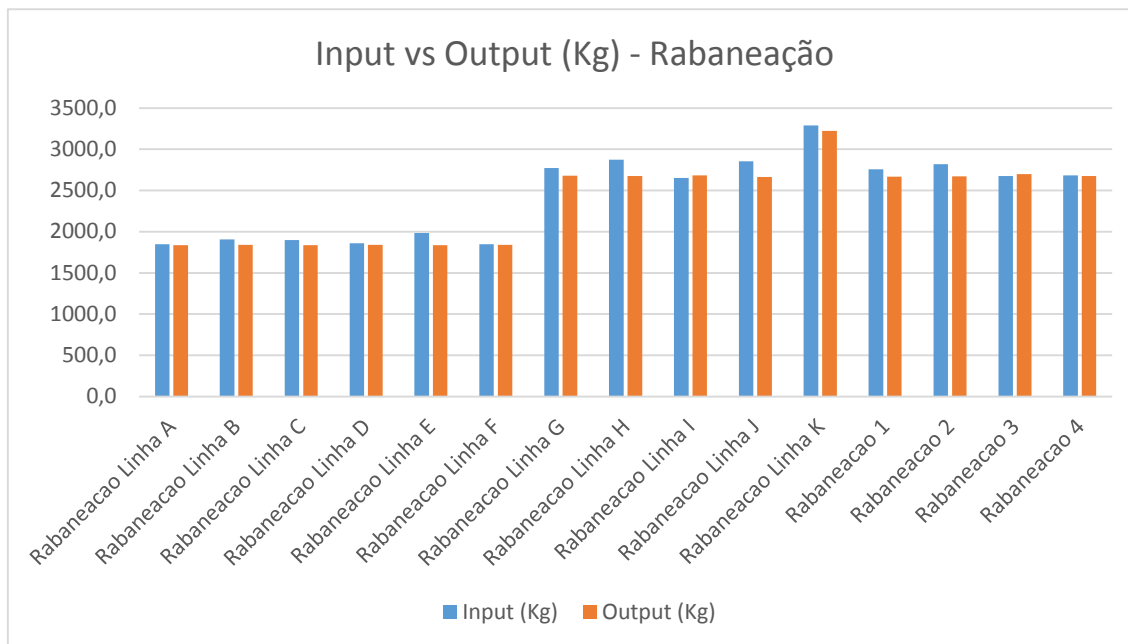


Figura 35 - Input vs Output (Kg) – Rabaneação

Em relação à taxa de utilização do setor, o valor médio situa-se ligeiramente acima dos 95%, estando todos os recursos a laborar com taxas de utilização acima dos 90% (Figura 36). Estes valores vêm confirmar o nivelamento que existe neste setor.

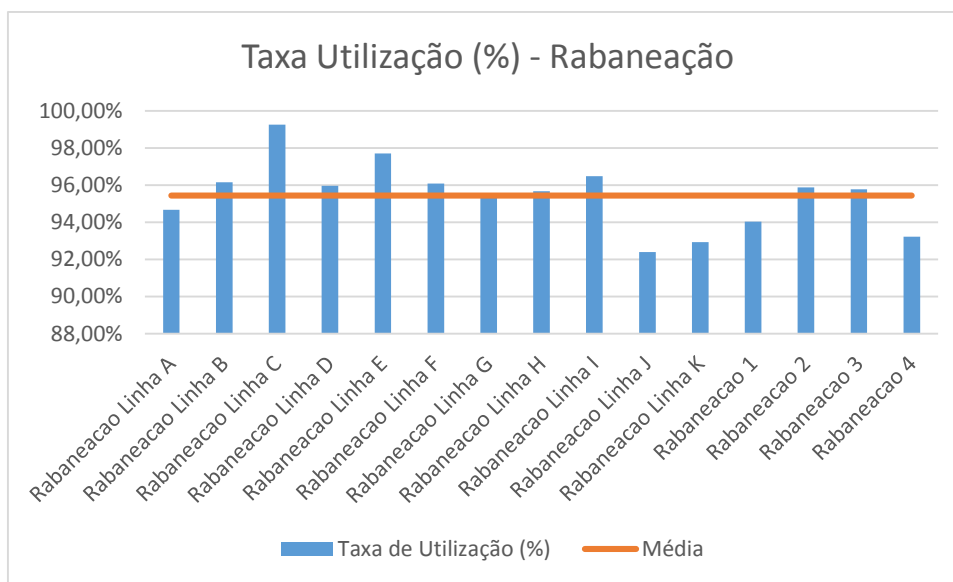


Figura 36 - Taxa de Utilização (%) – Rabaneação

A dimensão da fila de espera (Figura 37), expressa em Kg de cortiça, não é surpreendente, pois é o valor de aproximadamente meia paleta. No modelo concetual, desenhou-se a restrição, em que cada PT apenas teria uma paleta de cortiça em qualquer ponto discreto do tempo, daí a média da fila de espera ser a

metade dessa palete. Esta conclusão é intuitiva, pois a amplitude no gráfico, entre o mínimo e o máximo é de cerca de 35Kg. Dada a amplitude de valores que uma palete pode tomar, esta fila não representa nenhuma anormalidade em nenhuma PT.

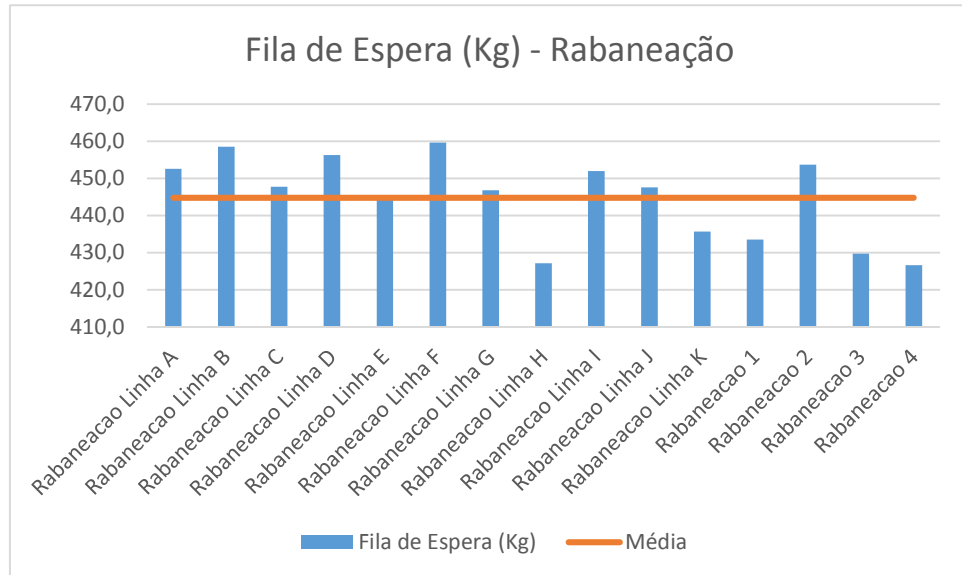


Figura 37 - Fila de Espera (Kg) - Rabaneação

Brocagem

Neste setor, existe bastante a analisar, até pela diferenciação que foi dada em termos de dados de entrada no modelo. Portanto, pode-se verificar na Figura 38 que o *output* do setor da rabaneação e respetivo *input* aos recursos da brocagem (abastecedor e broca) variam consoante o tipo de broca. Estes valores estão expressos em Kg. A diferença entre o *output* do processo a montante (rabaneação) com o *input* do processo imediatamente a jusante (broca ou abastecedor) acontece porque existe um a pequena fila de espera no *conveyor* que liga os dois setores. Em relação ao baixo *input* da brocagem das linhas G a K, os motivos de tal quebra serão explicado de seguida com base em outros indicadores. Contudo, pode-se concluir que não existe um nivelamento entre os processos, principalmente nas linhas de produção G a K.

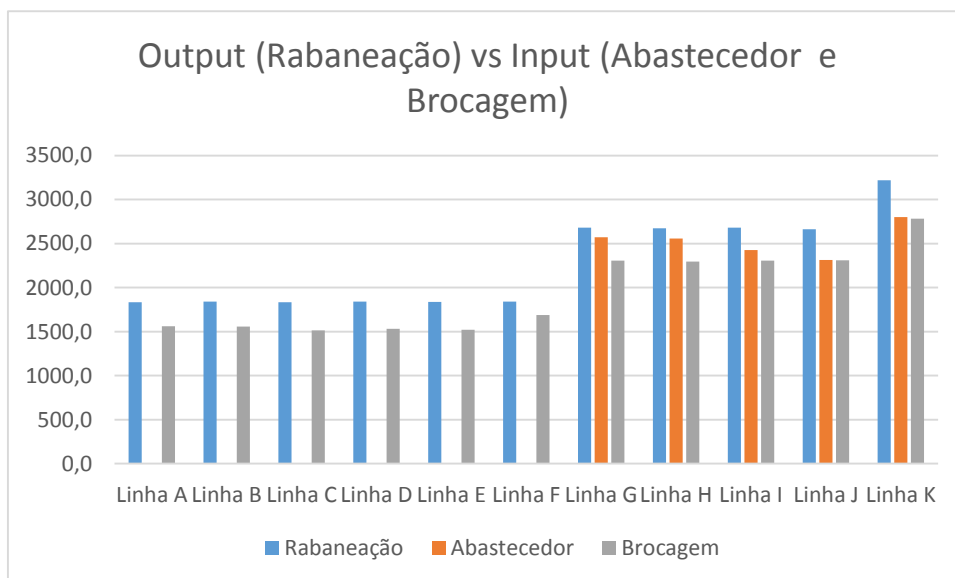


Figura 38 - Output (Rabaneação) vs Input (Abastecedor e Brocagem)

No que diz respeito às taxas de utilização, definiu-se um objetivo mínimo de 80% em relação a esse indicador (Figura 39). Visualmente, constata-se que as brocas do tipo robot e os recursos da linha K (broca e abastecedor) possuem uma taxa de utilização abaixo desse objetivo. Analisando este indicador, conjuntamente com o *input* de cada broca, percebe-se que o recurso abastecedor é a causa da diferença verificada na Figura 38. Contudo, na linha K, como se trata de um abastecedor diferente, a análise é diferente.

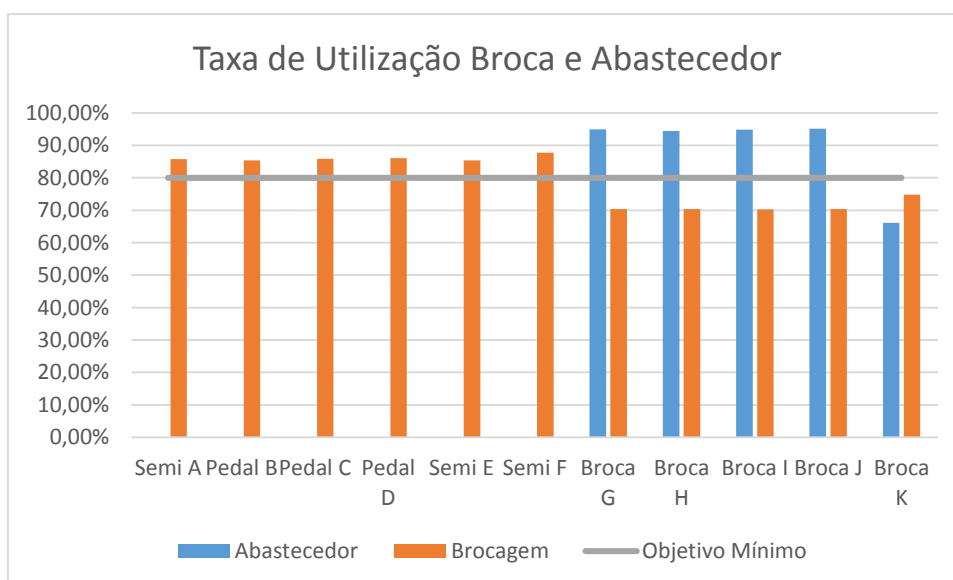


Figura 39 - Taxa Utilização Brocas e Abastecedor

Nas brocas do tipo robot (Linha G a J), o abastecedor possui uma taxa de utilização elevada, em que cumpre a sua tarefa de abastecer a broca que lhe sucede. Portanto, é normal que possua uma fila de espera um pouco significativa (Figura 40). A broca, que é abastecida pelo robot, possui um *output* bastante semelhante à realidade e uma taxa de utilização semelhante àquilo que se poderia prever, no entanto, um pouco abaixo daquilo que seria o ideal. Analisando a fila de espera da broca, conclui-se que o abastecedor não é suficientemente capaz de servir a broca que lhe sucede, com o TC que lhe seria exigido.

No que diz respeito à broca do tipo automática (Linha K), o abastecedor possui uma taxa de utilização abaixo do que seria expectável e a fila de espera deste recurso enquadra-se dentro daquilo que é a realidade. Contudo, a broca que lhe sucede possui uma taxa de utilização semelhante às brocas do tipo robot. A fila de espera da broca, não é muito significativa, mas representa o máximo permitido, pois existe uma limitação de espaço na fila de espera, que está presente na lógica do modelo. Conclui-se, portanto, que neste caso o recurso abastecedor está a ser subutilizado.

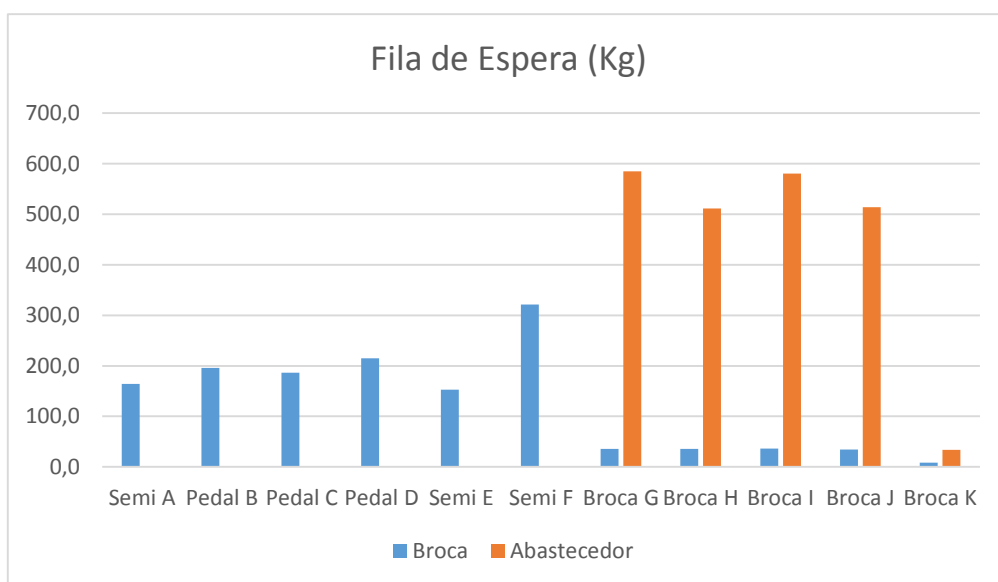


Figura 40 - Fila de Espera (Kg) - Brocagem

Em relação à fila de espera nas linhas A a F, esta acaba por não ser significativa, visto que cada fila possui 6PT, o que no global, não é uma fila de espera significativa. Aliás, em cada PT a fila de espera média é de cerca de 35Kg por cada broquista. Nas linhas G a J, a análise já se torna mais complexa, pois é criada pela taxa de utilização limite do abastecedor. Este indicador, acaba por completar as suspeitas que se tinham detetado na análise dos últimos dois indicadores. Ou seja, os recursos gargalo identificados, são os abastecedores das linhas G a J. Em relação à linha K, não se pode dizer que exista um recurso gargalo, mas sim de um recurso (abastecedor) em que a sua taxa de utilização pode ser melhorada caso seja preciso aumentar a capacidade desta linha de produção.

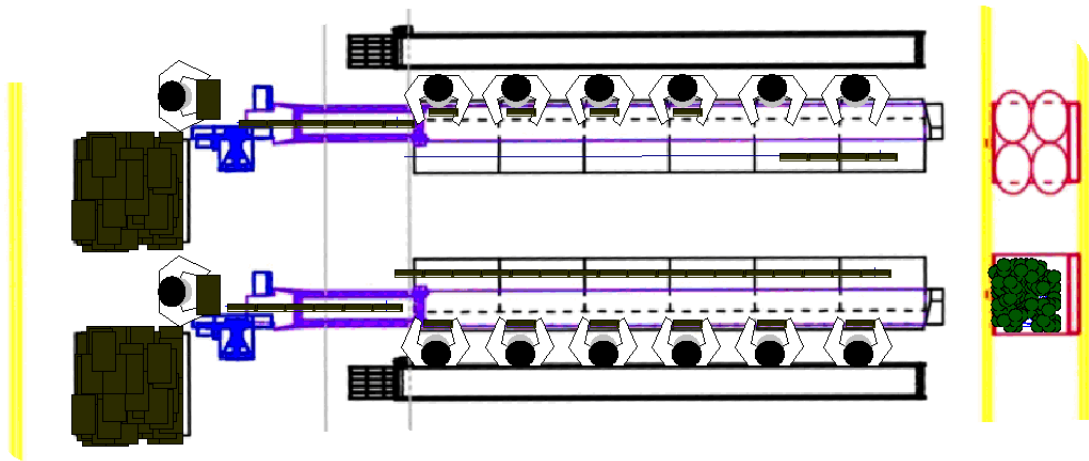


Figura 41 - Animação do Modelo (Rabaneação e Brocagem a Pedal e Semiautomática)

Na Figura 41 pode-se verificar que na animação do modelo, não se deteta nenhum problema. A análise a reter ao tipo de broca que está representado, bem como aos recursos da rabaneação é que tudo funciona bastante bem.

Deslenhar

Na Figura 42 está representado visualmente a quantidade de rochas produzidas pelos recursos do deslenhar e é feita uma comparação com a quantidade de rochas produzidas pelas brocas. Como explicado no modelo concetual, após este setor as rochas seguem num *batch* de 28Mil e apenas as linhas G a K possuem o recurso deslenhar. As ilações a retirar deste gráfico é que existe um diferendo de produção na linha K.

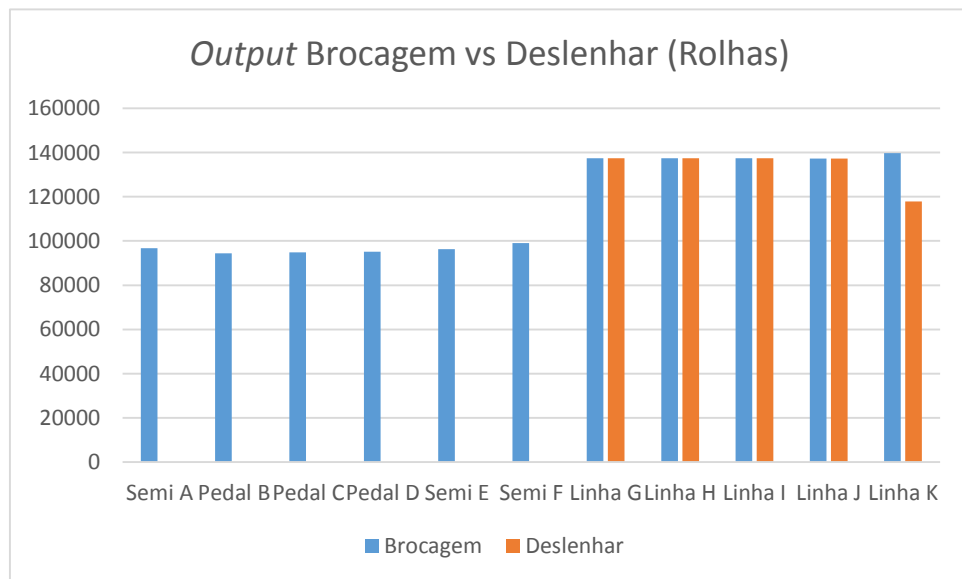


Figura 42 - Output Brocagem vs Deslenhar (Rolhas)

O que se pode verificar na Figura 43 é que os recursos associados às linhas G a J possuem uma taxa de utilização bastante baixa. Na linha K passa-se exatamente o contrário, em que o recurso está a ser utilizado na capacidade máxima.

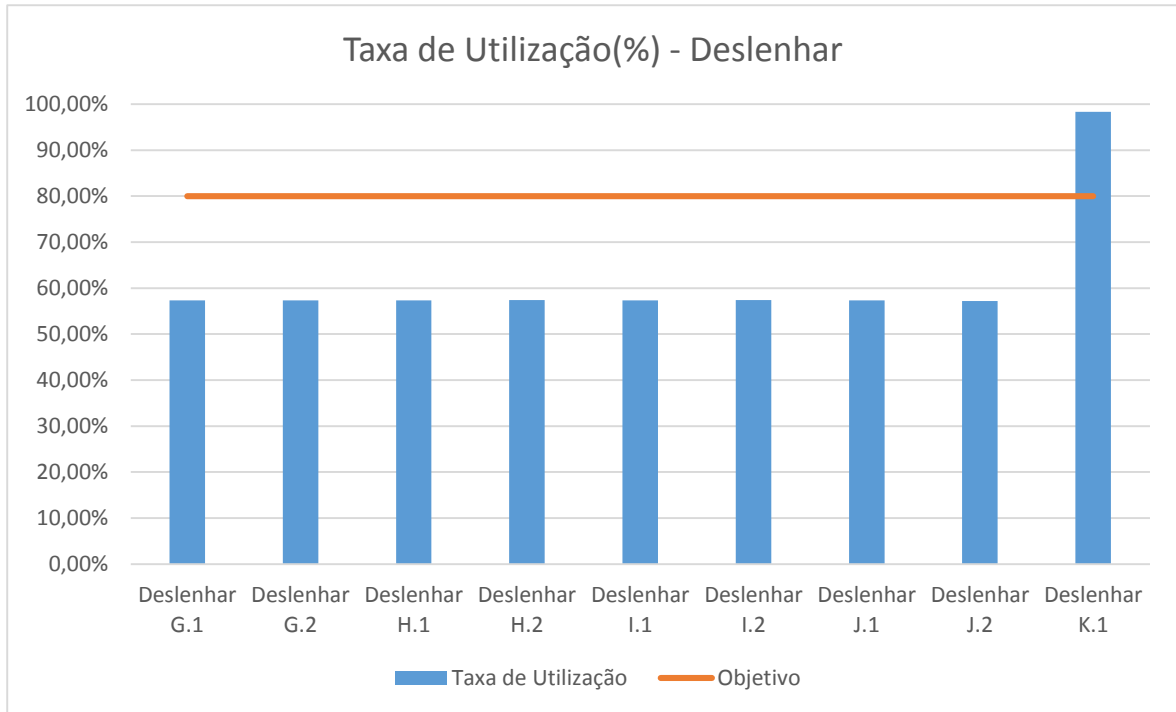


Figura 43 - Taxa de Utilização – Deslenhar

Para que se possa elaborar uma análise e uma abordagem completa, na Figura 44 está patente o indicador que dissipa todas as dúvidas. Ou seja, nas linhas G a J, existe uma fila de espera bastante mais baixa do que para a linha K. Comparando este indicador de desempenho com aqueles que já foram analisados anteriormente, pode-se dizer que os recursos deslenhar das linhas G a J estão a ser subutilizados e o recurso da linha K não possui capacidade suficiente para tornar o fluxo de produção mais fluído.

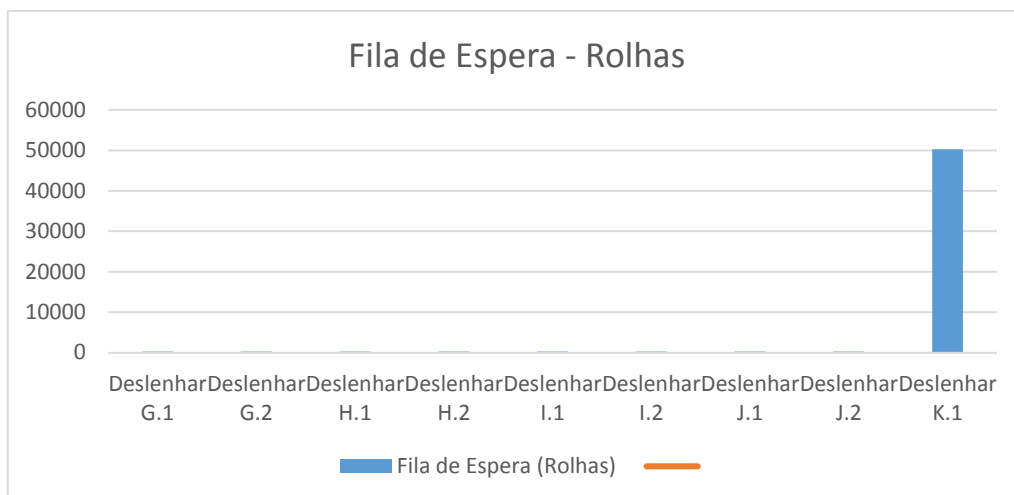


Figura 44 - Fila de Espera (Rolhas) - Deslenhar

Ou seja, o recurso associado à linha K, está a ser sobreutilizado, pois a sua taxa de utilização é máxima e possui uma fila de espera muito significativa. Para além disso, não se compreende que uma linha de produção que tem um output superior às restantes, tenha só um recurso a jusante e as outras linhas tenham dois. Conclui-se que existem correções a fazer em relação a este setor.

Acabamentos Mecânicos I e 1ª Escolha

Na Figura 45 pode-se visualizar a taxa de utilização do segundo subconjunto do sistema modelado que se rege por um fluxo de produção contínuo. Ou seja, para que este conjunto de recursos estejam balanceados o TC tem de ser idêntico entre os todos e consequentemente a taxa de utilização tem de ser semelhante, para que não haja recursos gargalo e o fluxo de produção seja o mais fluido possível.

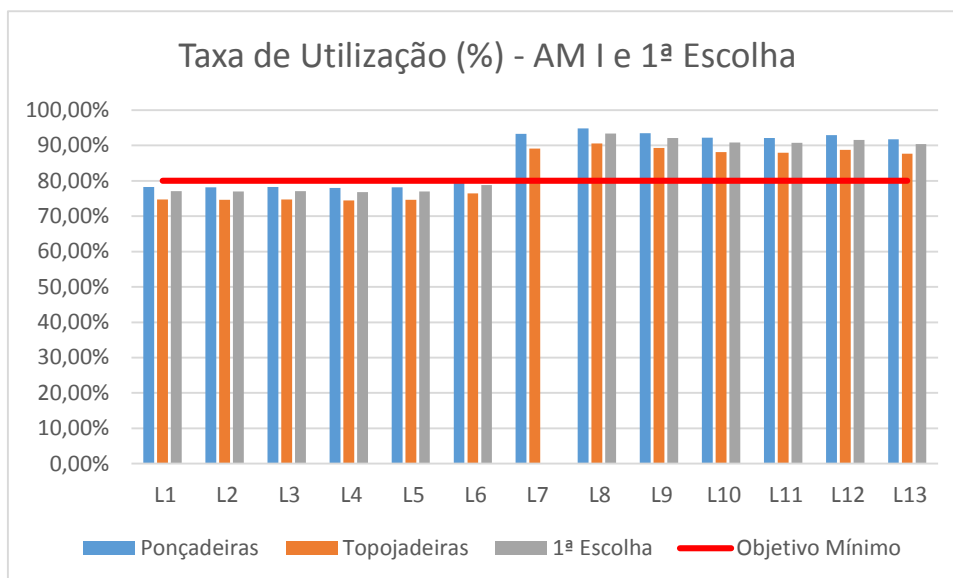


Figura 45 - Taxa de Utilização - AM I e 1ª Escolha

Apesar de haver pequenos desvios na taxa de utilização de recurso para recurso, existe um impacto significativo nas filas de espera. Para se perceber melhor a importância do balanceamento, tem de se analisar as filas de espera, representadas na Figura 46.

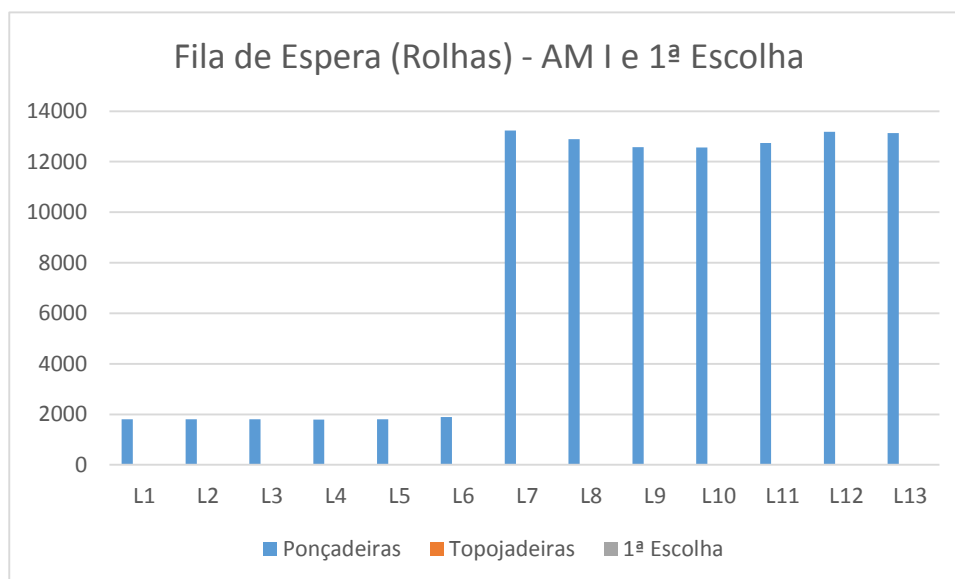


Figura 46 - Fila de Espera (Rolhas) - AM I e 1ª Escolha

Em relação ao recurso ponçadeira, verifica-se que possui uma fila espera significativa, quando comparada ao dos restantes recursos, que são praticamente nulos. As consequências que isto tem na produção são significativas. O facto de as taxas de utilização não estarem otimizadas e balanceadas em conjunto com

as filas de espera, cria um desvio de rolhas consumidas, presentes na Figura 47. O que se verifica é que o primeiro subconjunto de produção contínua produz cerca de 1250Mil e no final da 1ª escolha são produzidas menos 200Mil de rolhas. Esta diferença é causada pelo desbalanceamento entre setores e pelo recurso ponçadeiras que causa este gargalo que afeta o funcionamento dos recursos a jusante.

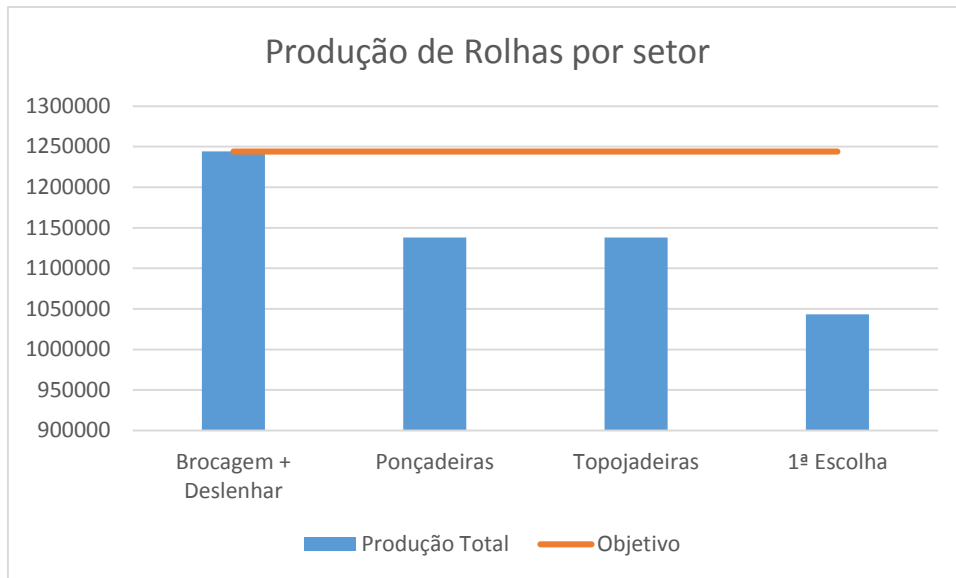


Figura 47 - Produção de rolhas por setor

Apesar de existir uma fila de espera total de cerca de 100Mil, ainda estão em falta outros 100Mil, que perfaz o desbalanceamento de 200Mil. Dada a regra que cada fila de espera apenas pode conter um cesto metálico (*batch* de 28Mil) em cada recurso, ainda existe uma quantidade de 100Mil que está em espera para entrar na fila de espera.

De forma global, na identificação dos recursos gargalo, na Figura 48 pode-se verificar que existem recursos que afetam a fluidez do fluxo produtivo, nomeadamente no *lead time*.

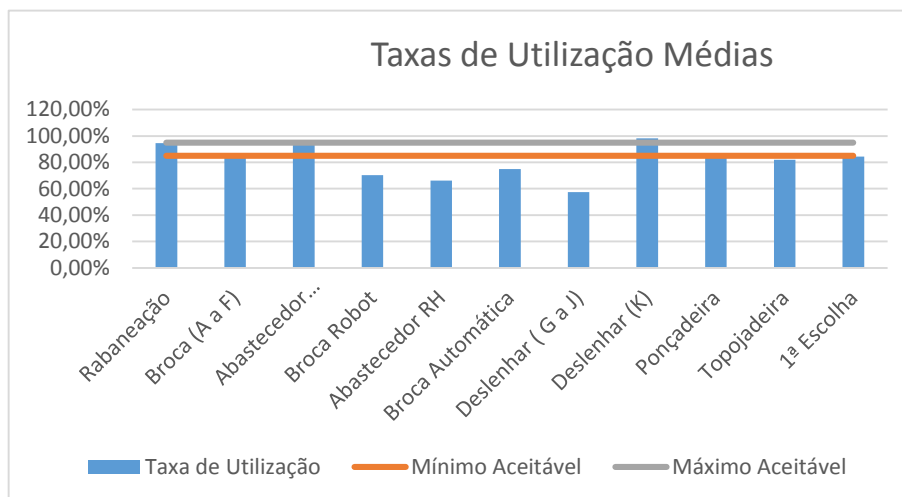


Figura 48 - Taxas de Utilização (%) - Resumo Global

Compilando a Figura 48 e Figura 49 numa análise global, pode-se concluir que existem recursos que afetam bastante o lead time do sistema. Verifica-se que existe um padrão para os recursos que possuem uma fila de espera próxima do zero, têm uma taxa de utilização mais baixa do que aquilo que seria expectável para um cenário ideal. Conclui-se que é nesses recursos que devem incidir as ações de melhoria, por forma a tornar o fluxo de produção mais fluido e reduzir, conseqüentemente o *lead time* do sistema. Para o desempenho deste indicador, também contribui para aquilo que são as filas de espera fora do normal, como é o caso do deslenhar (K) e ponçadeiras. As filas que são aceitáveis prendem-se com os recursos da rabaneação, que corresponde ao tempo médio de consumo de meia paleta e com os recursos da broca a pedal e semiautomática. Em relação a estes, se, se dividir esta fila por 6 PT, chega-se à conclusão que cada broquista demora cerca de 65 minutos para consumir a sua fila de espera, algo que condiz com a realidade e é aceitável.

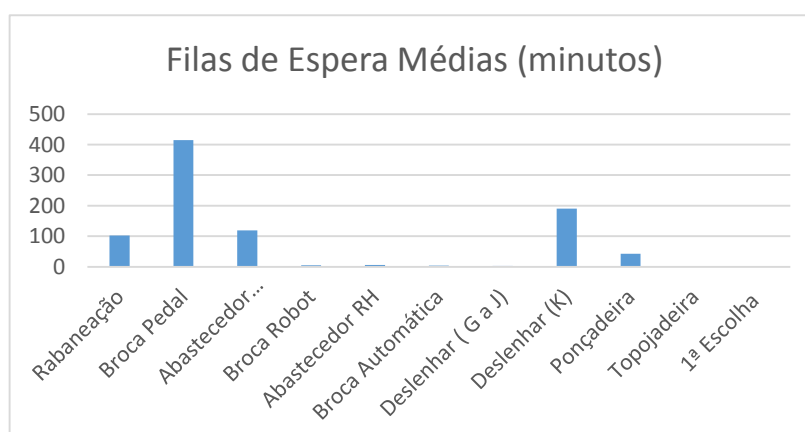


Figura 49 - Filas de Espera Média (minutos) – Resumo Global

Em relação a todos os setores/recursos chega-se à conclusão que aqueles em que se devem incidir ações de melhoria são:

- Abastecedor Robot é um recurso gargalo que causa a subutilização do recurso broca robot;
- Abastecedor da linha K é recurso subutilizado;
- Deslenhar (G a J) é um recurso subutilizado;
- Deslenhar (K) é um recurso gargalo;

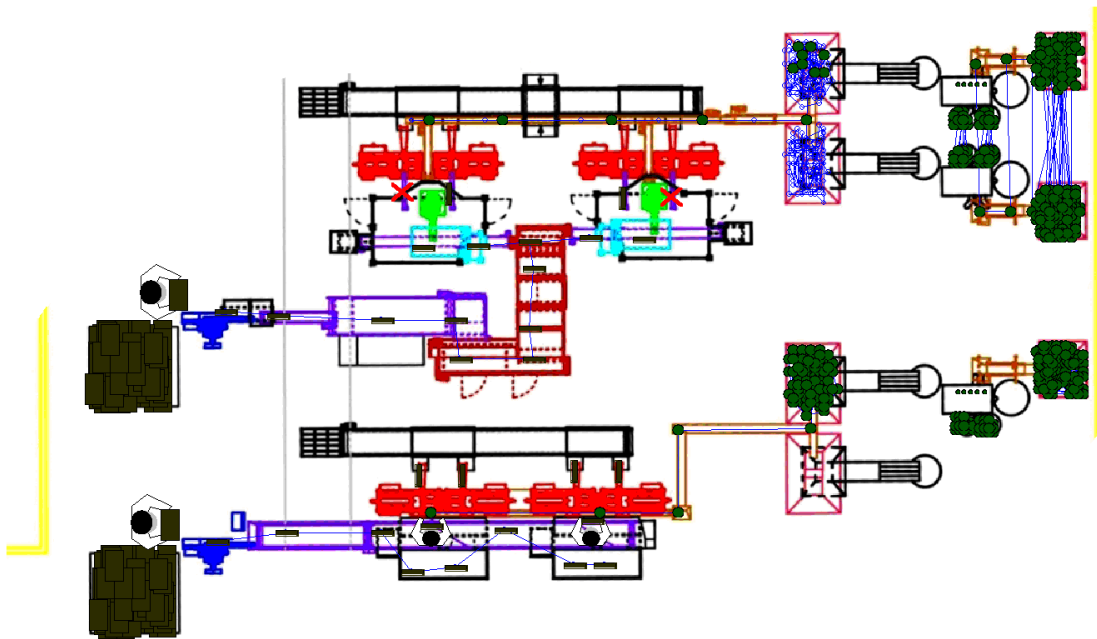


Figura 50 - Animação das linhas de produção J e K

Na Figura 50 verifica-se que o abastecedor humano não possui uma fila de espera significativa, enquanto as brocas subjacentes também não possuem uma fila de espera significativa, contudo, existe potencial de melhoria. No que concerne ao abastecedor robot, possui uma fila de espera considerável, algo que já era previsto dada a sua elevada taxa de utilização, enquanto as brocas a jusante não funcionam na perfeição, estando 2 delas, no momento da animação, paradas por uma falha.

- Ponçadeira é um recurso gargalo que causa a subutilização dos recursos topojadeiras e 1ª escolha; Na Figura 51 nota-se que não existe “nenhuma” fila de espera nos recursos topojadeira e 1ª escolha, apenas existindo algumas entidades a processar. A animação, neste caso, vem comprovar que o recurso ponçadeira é um gargalo ao fluxo produtivo.

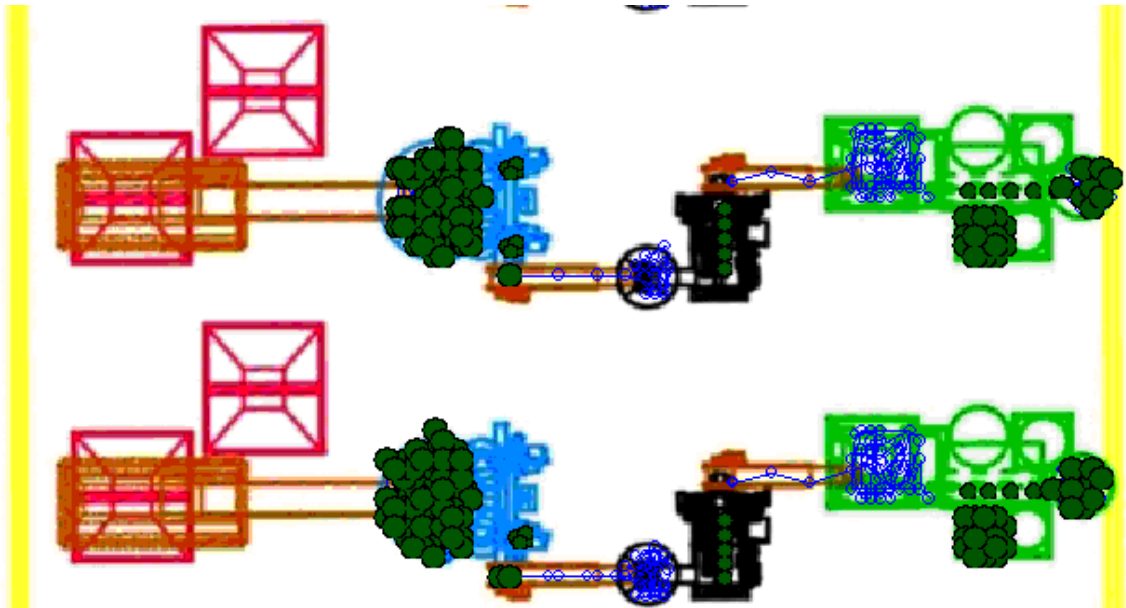


Figura 51 - Animação do setor acabamentos mecânicos I e 1ª escolha

Sabendo que o lead time do sistema é de 1260 ± 28 minutos, ao analisar-se o tempo das filas de espera, percebe-se facilmente que esse tempo pode ser diminuído. Um pormenor interessante a ter em consideração na fila de espera das ponçadeiras, é o facto de o cesto (batch de 28Mil) só ser alocado unitariamente cada recurso do setor.

Resumidamente, o que se constata é que a atual configuração do sistema ainda possui algumas “gorduras”, que devem ser minimizadas ou eliminadas, criadas pelo desbalanceamento entre processos. O tipo de implantação fabril, também ajuda na criação de *stock* intermédio e num lead time mais elevado. Contudo, já se identificou os recursos a que se devem direccionar ações de melhoria por forma a minimizar o impacto do tipo de layout fabril e fluxo de produção existente no sistema.

4 Conclusões e desenvolvimentos futuros

Na análise elaborada, detetaram-se problemas no fluxo de produção do sistema em análise que precisam de ser corrigidos. Desde recursos subutilizados a sobreutilizados, que originam filas de espera excessivas, ao desbalanceamento entre setores, várias são as oportunidades de melhoria identificadas.

Existem algumas ações de melhoria que podem ser implementadas e/ou testadas com vista à melhoria dos pontos fracos detetados. Resumidamente, os recursos identificados como críticos ao balanceamento e ao melhor funcionamento do fluxo produtivo estão representados na Tabela 7, em conjunto com algumas ações que se acredita que possam melhorar o funcionamento do sistema real.

Tabela 7 - Sugestões de Melhoria

Recurso	Ações de Melhoria/Conclusões
Abastecedor Robot (Linha G a J)	Deve-se ajustar o TC do abastecedor, com o da broca, através de melhoramentos na automatização (velocidade vs leitura). O objetivo passa por melhorar a eficiência do abastecedor e assim diminuir a fila de espera existente.
Abastecedor (Linha K)	Caso seja o objetivo, este abastecedor possui margem de manobra para ter mais uma broca automática para alimentar, pois a sua taxa de utilização é relativamente baixa.
Broca Automática	
Deslenhar (G a J)	Não existe necessidade de colocar as máquinas em funcionamento durante o turno inteiro. Uma vantagem que se deve ter em consideração é o facto do <i>container</i> que recebe as rolhas das brocas e serve de <i>input</i> ao deslenhar ser amovível. Isso permite uma flexibilidade na gestão dos recursos.
Deslenhar (K)	O facto de o <i>container</i> ser amovível da fila de espera ser considerável, a melhor forma de resolver a fila de espera deste recurso é aproveitar os restantes recursos subutilizados para “escoar” as entidades da linha K. Para isso, basta definir um nível aceitável no <i>container</i> , de forma visual, que crie a regra do momento que se tem de mover para outro recurso.
Ponçadeiras (L1 a L6)	Ajustar o TC das ponçadeiras e topojadeiras ao da 1ª Escolha, por forma a maximizar as capacidades das máquinas. Para além disso, deve-se ajustar a velocidade das máquinas, para um nível que balanceie os recursos, quer a montante, quer a jusante. Acrescentar que na recolha de dados foi detetado um problema no abastecimento às ponçadeiras (recurso gargalo) que neste momento está em curso e em vias de ser resolvido. Está previsto um aumento de cerca de 5% a 10% na produtividade deste recurso.
Topojadeiras (L1 a L6)	
1ª Escolha (L1 a L6)	

Durante o desenvolvimento deste estudo de simulação, principalmente na recolha de informação e conhecimento do sistema em estudo, que deu origem ao modelo concetual, observou-se algumas lacunas do

sistema, que se foram corrigindo ao longo do tempo e que não estão presentes no modelo de simulação, pois trata-se na resolução de pormenores, mas que no final fazem toda a diferença. No caso das brocas, estudou-se o trabalho referente à mudança de calibre, ou seja a alteração do diâmetro, nas brocas do tipo Robot. Apesar de no sistema real, não haver perdas de produção, porque essa mudança é feita durante os turnos seguintes, em que algumas dessas linhas não laboram, aproveitando-se esses momentos, para se fazer essa troca de ferramenta. No entanto é uma tarefa que já está estudada e melhorada. Um dos desenvolvimentos que se pode fazer facilmente, com o modelo de simulação existente, é testar um cenário alternativo correspondente à simulação do sistema em laboração durante 3 turnos e avaliar qual a implicação da mudança de ferramenta nos indicadores de desempenho.

Para além disso, foi através do output do modelo de simulação, mais precisamente do *lead time*, entre os setores do deslenhar e acabamentos mecânicos I, que se definiu o número certo de cestos metálicos, que servem de unidade de transporte para a estufa de pré-secagem. O que acontecia é que as máquinas do deslenhar paravam bastante tempo durante o dia de trabalho, por falta de cestos vazios. O modelo de simulação, deu para perceber o diferencial de rolhas processadas que havia entre o deslenhar e os acabamentos mecânicos I, algo que não era perceptível a olho “nú”. Após isso tomaram-se ações corretivas, e incrementou-se mais cestos no sistema. Um outro problema que existia, era a não realização do FIFO na estufa de pré-secagem, que passou a ser garantida assim que se alterou a forma como esta era abastecida.

Por fim e em termos futuros, este projeto pode ser tomado como base para se analisarem cenários alternativos de funcionamento do sistema atual. Por exemplo, pode-se estudar qual a implicação que existe no sistema, se se fizer variar os seguintes fatores:

- Turnos de Trabalho;
- Linhas produtivas ativas em cada turno;
- Aumento de capacidade, aumentando os recursos disponíveis;

Este projeto teve por base a análise de um sistema atual, muito importante para o desempenho dos processos a jusante da unidade fabril. O facto de este sistema ser bastante estável, permitiu uma modelação bastante fiável e com utilidade num futuro próximo, pois segundo os analistas este modelo servirá para testar alguns cenários que se pretendem implementar no sistema real. O facto de esses cenários terem surgido numa fase tardia deste projeto impossibilitou a simulação desses mesmos cenários. Contudo, e aquilo que mais interessa neste projeto é a mais-valia criada com a simulação dos processos na deteção de pontos fracos e respetivas melhorias e a certeza de que estas métricas de desempenho são tidas em consideração, bem como a utilização do modelo de simulação criado no futuro. O facto de este projeto ser um apoio à tomada de decisão é bastante gratificante. Mais do que tudo, ficou comprovado perante uma organização que a simulação industrial é uma mais-valia e que vale a pena investir.

Referências

5 Referências bibliográficas

- Amorim & Irmãos, S. (2012). *Manual de Acolhimento*. Santa Maria de Lamas.
- Anu, M. (1997). Introduction to modeling and simulation. *Winter Simulation Conference*, (pp. 7-13). Binghamton, New York.
- Banks, J., & Gibson, R. (1997). Don't Simulate when: 10 rules for determining when simulation is not appropriate. *IIE Solutions*, Vol. 29 Issue 9, p30. 3p.
- Banks, J., Carson II, J. S., Nelson, B. L., & Nicol, D. M. (2005). *Discrete-Event System Simulation*. New Jersey: Pearson Education, Inc.
- Courtois, A., Pillet, M., & Martin-Bonnefous, C. (2007). *Gestão da Produção*. Paris: Copyright Éditions d'Organisation.
- Dira, A., Pierreval, H., & Hajri-Gabouj, S. (2007). Facility Layout problems: A survey. *Annual Review in Control*, 255-267.
- Hillier, F. S., & Lieberman, G. J. (2001). *Introduction to Operations Research*. New York: McGraw-Hill Companies, Inc.
- Ingalls, R. G. (2013). Introduction to Simulation. *Winter Simulaion Conference*, (pp. 291-305).
- Law, A. M., & Kelton, W. D. (2000). *Simulation Modeling and Analysis*. United States: McGraw-Hill Companies.
- Law, A. M., & Michael, M. G. (1998). Simulation of Manufacturing Systems. *Winter Simulation Conference*, (pp. 49-52).
- Pegden, C. D., Sahnnon, R. E., & Sadowski, R. P. (1995). *Introduction to Simulation Using Siman*. Blacklick: McGraw-Hill, Inc.
- Pinto, J. P. (2006). *Gestão de operações na indústria e nos serviços*. Lisboa: Lidel.
- Ramos, A. (2013). Apontamentos da unidade curricular de simulação industrial. Universidade de Aveiro.
- Robinson, S. (2013). Conceptual Modeling for Simulation. *Winter Simulation Conference*, (pp. 377-387). Loughborough.
- Robinson, S. (2008). Conceptual Modelling for Simulation Part I: Definition and Requirements. *Journal of the Operational Research Society*, 278-290.

- Sanchez, S. M., & Wan, H. (2011). Better than a petaflop: the power of efficient experimental design. *Proceedings of the Winter Simulation Conference*, (pp. 1441-1455).
- Sargent, G. R. (2013). An Introduction to Verification and Validation of Simulation Models. *Proceedings of the 2013 Winter Simulation Conference*, (pp. 321-327). Syracuse, New York.
- Sargent, R. G. (2012). Verification and validation of simulation models. *Journal of Simulation*, 12-24.
- Schmidt, J. W., & Taylor, R. E. (1970). *Simulation and Analysis of Industrial Systems*. Homewood Illinois: Richard D. Irwin.
- Schriber, T. J., Brunner, D. T., & Smith, J. S. (2013). Inside Discrete-Event Simulation Software: How it works and why it matters. *Proceedings of the Winter Simulation Conference*, (pp. 424-438).
- Xambre, A. R. (2013). *Planeamento de sistemas de produção celulares*. Universidade de Aveiro.

Anexos

6 Anexos

6.1 Anexo A: Dados de entrada do modelo de simulação

Tabela 8 - Dados de Entrada Rabaneação

Rabaneação	Nº de paletes consumidas	Kg / palete
	TRIA (45.5, 52, 56.5)	NORM (900, 82.8)

Tabela 9 - TC dos setores Rabaneação - Deslenhar

Linha	Rabaneação			Brocagem				Deslenhar		
	Nº PT	Recurso	Tempo de Ciclo	Tipo	Recurso	Nº PT	Tempo de Ciclo	Nº PT	Recurso	Tempo de Ciclo
A	1	Rabaneadora	NORM (13.2, 2.26)	Semi-Automática	Broca	6	61 + 45 * BETA (2.05, 0.942)	0	--	--
B	1			Pedal	Broca	6	71 + 41 * BETA (1.39, 1.1)	0	--	--
C	1			Pedal	Broca	6	71 + 41 * BETA (1.39, 1.1)	0	--	--
D	1			Pedal	Broca	6	71 + 41 * BETA (1.39, 1.1)	0	--	--
E	1			Semi-Automática	Broca	6	61 + 45 * BETA (2.05, 0.942)	0	--	--
F	1			Semi-Automática	Broca	6	61 + 45 * BETA (2.05, 0.942)	0	--	--
G	1	Rabaneadora	TRIA (4, 8.95, 13.9)	Robot	Abastecedor Robot	2	18 + WEIB (8.08, 1.98)	2	Máquina Deslenhar	TRIA (0.21, 0.231, 0.28)
				Broca	4	NORM (37.6, 4.15)				
H	1			Robot	Abastecedor Robot	2	18 + WEIB (8.08, 1.98)	2		
				Broca	4	NORM (37.6, 4.15)				
I	1			Robot	Abastecedor Robot	2	18 + WEIB (8.08, 1.98)	2		
				Broca	4	NORM (37.6, 4.15)				
J	1			Robot	Abastecedor Robot	2	18 + WEIB (8.08, 1.98)	2		
				Broca	4	NORM (37.6, 4.15)				
K	1	4 + 10 * BETA (0.622, 1.28)	Automática	Abastecedor Homem	2	TRIA (10, 15.6, 18)	1			
			Broca	4	TRIA (25, 27.7, 34)					

Tabela 10 - TC dos setores Acabamentos Mecânicos I e 1ª Escolha

Linha	Máquina de Polir		Máquina de Topejar		Máquina de Escolha Eletrônica	
	Nº PT/Linha	TC	Nº PT/Linha	TC	Nº PT/Linha	TC
1 a 6 e 8 a 13	2	0.48 + ERLA (0.041, 3)	2	TRIA (0.48, 0.498, 0.75)	1	0.25 + LOGN (0.0471, 0.0227)
7	2	0.48 + ERLA (0.041, 3)	2	TRIA (0.48, 0.498, 0.75)	—	—

Tabela 11 - Failures do modelo de simulação

Failure - Advanced Process							
	Name	Type	Up Time	Up Time Units	Count	Down Time	Down Time Units
1	Limpeza Rabaneacao	Time	3.5	Hours	210.00000000000000000000	10	Minutes
2	Afiar Broca Auto	Time	30	Minutes	30	1	Minutes
3	Pegar 1kg de cortica	Count	1.0	Hours	1	TRIA(4 , 5 , 6)	Seconds
4	Broca sem traco	Count	TRIA(9 , 11 , 13)	Minutes	1	(36 + ERLA(7.96, 2)) - (NORM (37.6, 4.15))	Seconds
5	Afiar Broca PedalSemi	Time	45	Minutes	45	4	Minutes
6	Paragens Broquistas	Time	2.5	Hours	150.00000000000000000000	6	Minutes
7	Colocar oleo na broca	Time	20	Minutes	20	15	Seconds
8	Colocar carros no deslenhar	Count	1.0	Hours	28000	2	Minutes

6.2 Anexo B : *Layout* do sistema modelado

