



**Universidade do Minho**  
Escola de Engenharia

Sérgio Manuel Pereira de Oliveira

**Construção de modelos de simulação  
para a melhoria da programação de  
um sistema de produção**

Tese de Mestrado  
Engenharia e Gestão Industrial

Trabalho efectuado sob orientação do  
**Professor Dr. Luís Silva Dias**

Guimarães, 2011

DECLARAÇÃO:

Nome: *Sérgio Manuel Pereira de Oliveira*

DE ACORDO COM A LEGISLAÇÃO EM VIGOR, NÃO É PERMITIDA A  
REPRODUÇÃO DE QUALQUER PARTE DESTA TESE/TRABALHO

Universidade do Minho, 27/04/2011

Assinatura: \_\_\_\_\_

## **Agradecimentos**

Apesar deste relatório ser um trabalho individual, há contributos de natureza diversa que não podem deixar de ser realçados. Por esta razão, gostaria de agradecer a todas as pessoas que contribuíram para a realização deste trabalho:

Ao Dr. Luís Dias por todo o tempo disponibilizado para a discussão de ideias e opiniões críticas relatadas durante a realização deste trabalho.

Aos meus colegas do MEI pelas sugestões e críticas, e ao Departamento de Produção e Sistemas pela disponibilidade dos meios.

Ao Sr. Eng. José António Simões, responsável pelo departamento da Tecelagem, por toda a sua disponibilidade e colaboração durante a investigação.

A todos os colaboradores da empresa, pelo empenho e determinação aplicado durante a realização da investigação.

Aos meus amigos, pelo carinho, apoio e compreensão.

Não posso deixar de agradecer também a toda a minha família, em especial a Sónia, minha esposa, e ao meu pequeno Dinis, por toda a compreensão e apoio dedicados durante a realização deste trabalho.



## Resumo

### **Construção de modelos de simulação para a melhoria da programação de um sistema de produção**

**Sérgio Oliveira**

Este trabalho centra-se essencialmente na programação da produção de uma empresa têxtil numa área da preparação de tecelagem.

O objectivo deste trabalho consiste em sequenciar ordens de fabrico para sofrerem três operações (carregar> urdir> descarregar), de forma a minimizar os tempos de mudança e eliminar atrasos. Pretende-se, igualmente, alcançar uma taxa de utilização de máquina o mais elevada possível, tendo em conta os prazos de entrega. A unidade produtiva possui quatro unidades de urdissagem, a funcionar em paralelo.

Seleccionaram-se as regras heurísticas que pareceram ser indicadas para a resolução do problema. Foram implementadas heurísticas inspiradas em mais do que uma das que resultarem da revisão da literatura.

As heurísticas aplicadas foram: PFA (Processamento por Famílias de Artigos), SPT (*Shortest processing time*), DEM (Data de Entrega Mínima) e NOP (Número de Operações). Tendo sido utilizadas para sequenciar as ordens de fabrico e avaliar o desempenho consequente do uso de cada uma.

Adicionalmente, a aplicação de algumas técnicas da filosofia *Lean Manufacturing* revelaram ser um contributo positivo no sentido de eliminar desperdícios, tornando o processo mais flexível e com capacidade para responder às exigências do mercado actual.

Os resultados foram avaliados num modelo de simulação construído no software Arena, que serviram como base para a aceitação ou rejeição das heurísticas simuladas, quer através dos resultados numéricos do mesmo, quer através da sua ilustração/animação que será facilmente validada pelos agentes de decisão da empresa.



# **Abstract**

## **Construction of simulation models to improve the scheduling of a production system.**

**Sérgio Oliveira**

This work is focused on the production programming of a textile company, more specifically in the weaving preparing area.

Its main goal is doing sequential working steps in three operations (charging - weaving - discharging), in order to minimise changeover and to avoid delays. As a result, the machine utilization will be increased, although respecting the deliver deadlines. The production unit is composed by 4 of these units of weaving, working at the same time.

A literature review has been performed in order to identify related heuristics.

The selected and applied heuristics were: PFA (Process for Families of Articles), SPT (shortest Processing Time), DEM (Minimum Delivery Date) and NOP (Number of Operations). Based on those heuristics, manufacturing orders were sorted and performance evaluated accordingly.

Moreover, the application of some techniques of Lean Manufacturing philosophy, proved to be a positive contribution towards eliminating waste, making the process more flexible and able to meet the demands of today's market.

Different scenarios were evaluated in a simulation model in the software Arena, in order to make the acceptance or rejection of heuristics considering the numerical results and illustration / animation to be easily validated by the company decision maker.



# Conteúdo

<b>Resumo .....</b>	<b>v</b>
<b>Abstract .....</b>	<b>vii</b>
<b>Índice de figuras .....</b>	<b>xi</b>
<b>Índice de Tabelas .....</b>	<b>xv</b>
<b>Lista de Abreviaturas.....</b>	<b>xvii</b>
<b>1. Introdução .....</b>	<b>19</b>
1.1 Objectivos .....	19
1.2 Apresentação da empresa.....	20
1.2.1 Organização do grupo.....	20
1.2.2 Área de Negócio.....	21
1.3 Sistema de Produção .....	23
<b>2. Revisão crítica da literatura .....</b>	<b>27</b>
2.1 Identificação do problema.....	27
2.1.1 Metodologia.....	27
2.1.2 Fontes Bibliográficas.....	28
2.2 Estrutura do planeamento.....	29
2.3 Programação da produção .....	31
2.4 Métodos de optimização .....	33
2.5 Simulação.....	38
<b>3. Aplicação de técnicas da Filosofia Lean thinking.....</b>	<b>41</b>
3.1 Metodologia dos 5S Housekeeping.....	43
3.1.1 Aplicação dos 5S .....	44
3.2 Gestão Visual .....	45
3.2.1 Aplicação da Gestão Visual.....	46

3.3	Abastecimento.....	48
3.3.1	Aplicação do Abastecedor.....	50
<b>4.</b>	<b>Simulação de Heurísticas na Urdissagem.....</b>	<b>53</b>
4.1	Pesquisa de dados.....	53
4.2	Ferramenta de Simulação.....	61
4.3	Construção do modelo em Arena.....	62
4.3.1	Transformação de códigos.....	63
4.3.2	Modelação.....	64
4.4	Análise da produção no último quadrimestre de 2010.....	75
4.5	Simulação do Abastecimento.....	78
4.5.1	Simulação da produção com o abastecimento tradicional.....	78
4.5.2	Simulação da produção com o Abastecedor.....	79
4.6	Simulação e Análise das Heurísticas no modelo.....	81
4.6.1	Simulação da produção no mesmo período de tempo.....	82
4.6.2	PFA – Processamento por Famílias de Artigo.....	83
4.6.3	SPT - Shortest processing time.....	86
4.6.4	DEM - Data de entrega mínima.....	88
4.6.5	NOP - Número de operações.....	90
4.7	Avaliação da aplicação das heurísticas.....	92
<b>5.</b>	<b>Conclusão.....</b>	<b>95</b>
5.1	Contributos do trabalho desenvolvido.....	96
5.2	Trabalhos Futuros.....	97
	<b>Bibliografia.....</b>	<b>99</b>
	<b>Anexo 1 – Mapa das O.F. Activas.....</b>	<b>105</b>
	<b>Anexo 2 – Simulação detalhada dos processos.....</b>	<b>107</b>

## Índice de figuras

Figura 1 - Organigrama do grupo	20
Figura 2- Matriz dos Processos	21
Figura 3 - Layout da tecelagem	22
Figura 4 - Integração de processos	23
Figura 5 - Ciclo do processo produtivo	24
Figura 6 – Esquinadeira	24
Figura 7 - Urdideira Seccional	25
Figura 8 - Layout da secção das urdideiras	25
Figura 9 - Operações na Urdissagem	26
Figura 10 – Sequência das operações na UR01 para um turno de 8 horas	26
Figura 11 - Estrutura do planeamento da organização	29
Figura 12 -Os 5s	43
Figura 13 - Exemplo de Gestão Visual	45
Figura 14 - Ficha Técnica	46
Figura 15 - Nova apresentação da disposição das cores na Ficha Técnica	47
Figura 16- Exemplo de MilkRun	49
Figura 17- Abastecimento Tradicional Vs MilkRun	50
Figura 18 – Layout com o Abastecedor	51
Figura 19 - Dados da operação procurar fio	54
Figura 20 - Dados da operação carregar esquinadeiras	55
Figura 21 - Dados da operação emendar fio na esquinadeira	56
Figura 22 - Dados da operação picar pente	57
Figura 23 - Dados sobre a colocação de cordas fita a fita	58
Figura 24 - Dados sobre a colocação do orgão para passar a teia	59
Figura 25 - Dados da operação descarregar cones	60
Figura 26 - Módulos de fluxo e de dados	61
Figura 27 - Modelação do início do processo	65
Figura 28 -Teste à igualdade dos artigos	66
Figura 29 - Verificação dos artigos da mesma família	67
Figura 30 - Cálculo da máquina menos ocupada	68

Figura 31 - Modelação do sequenciamento dos artigos	68
Figura 32 - Arquivo dos artigos	69
Figura 33 - Abastecedor	69
Figura 34 - Modelação da operação carregar	70
Figura 35 - Modelação da operação urdir	71
Figura 36 - Modelação da operação descarregar	72
Figura 37 - Modelação do sistema produtivo	73
Figura 38 - Ambiente gráfico da modelação do sistema produtivo	74
Figura 39 - Numero de teias urdidas no ultimo quadrimestre de 2010	76
Figura 40 - Numero de metros urdidos no ultimo quadrimestre de 2010	76
Figura 41 -Taxa de ocupação real no ultimo quadrimestre de 2010	77
Figura 42 - Ocupação do abastecimento tradicional	78
Figura 43 - Tempos médios de carga e descarga por artigo	78
Figura 44 - Ocupação do abastecedor	79
Figura 45 - Tempos médios de carga e descarga por artigo	79
Figura 46 - Tempo médio do abastecedor	79
Figura 47 - Resumo dos tempos de carregar e descarregar por máquina	80
Figura 48 – Resultados da simulação do último quadrimestre	82
Figura 49 - Taxa ocupação da simulação do ultimo quadrimestre	82
Figura 50 – Resultados da simulação da regra PFA	83
Figura 51 - Tempos médios de operação da regra PFA	84
Figura 52 – Resultados da simulação da regra SPT	86
Figura 53 - Taxa de ocupação da regra SPT	86
Figura 54 - Tempos médios de operação da regra SPT	87
Figura 55 - Resultados da simulação da regra DEM	88
Figura 56 - Taxa de ocupação da regra DEM	88
Figura 57 - Tempos médios de operação da regra DEM	89
Figura 58 - Resultados da simulação da regra NOP	90
Figura 59 - Taxa de ocupação da regra NOP	90
Figura 60 - Tempos médios de operação da regra NOP	91
Figura 61 - Taxa de ocupação média	92
Figura 62 - Mapa das ordens de fabrico	105
Figura 63 - Resultados da simulação PFA a carregar na Esq. A da URS1 e URS2	107
Figura 64 - Resultados da simulação PFA a carregar na Esq. A da URS7 e URS8.	108

Figura 65 - Resultados da simulação PFA a carregar na Esq. B da URS1 e URS2	109
Figura 66 - Resultados da simulação PFA a carregar na Esq. B da URS7 e URS8	110
Figura 67 - Resultados da operação PFA a descarregar na Esq. A na URS1 e URS2	111
Figura 68 - Resultados da simulação PFA a descarregar na Esq. B da URS1 e URS2	112
Figura 69 - Resultados da simulação PFA a descarregar na Esq. B da URS7 e URS8	113
Figura 70 - Resultados da simulação PFA a Urdir na URS1 e URS2.	114
Figura 71 - Resultados da simulação PFA a Urdir na URS7 e URS8.	115
Figura 72 - Resultados da simulação SPT a carregar na Esq. A da URS1 e URS2	116
Figura 73 - Resultados da simulação SPT a carregar na Esq. A da URS7 e URS8	117
Figura 74 - Resultados da simulação SPT a carregar na Esq. B da URS1 e URS2	118
Figura 75 - Resultados da simulação SPT a carregar na Esq. B da URS7 e URS8	119
Figura 76 - Resultados da simulação SPT a descarregar na Esq. A da URS1 e URS2	120
Figura 77 - Resultados da simulação SPT a descarregar na Esq. A da URS7 e URS8	121
Figura 78 - Resultados da simulação a descarregar na Esq. B da URS1 e URS2	122
Figura 79 - Resultados da simulação SPT a descarregar na Esq. B da URS7 e URS8	123
Figura 80 - Resultados da simulação SPT a Urdir na URS1 e URS2	124
Figura 81 - Resultados da simulação SPT a Urdir da URS7 e URS8	125
Figura 82 - Resultados da simulação DEM a carregar na Esq. A da URS1 e URS2	126
Figura 83 - Resultados da simulação DEM a carregar na Esq. A da URS7 e URS8	127
Figura 84 - Resultados da simulação DEM a carregar na Esq. B da URS1 e URS2	128
Figura 85 - Resultados da simulação DEM a carregar na Esq. B da URS7 e URS8	129
Figura 86 - Resultados da simulação DEM a descarregar na Esq. B da URS7 e URS8	130
Figura 87 - Resultados da simulação DEM a descarregar na Esq. B da URS7 e URS8	131
Figura 88 - Resultados da simulação DEM a descarregar na Esq. B da URS1 e URS2	132
Figura 89 - Resultados da simulação DEM a descarregar na Esq. B da URS7 e URS8	133
Figura 90 - Resultados da simulação DEM a Urdir na URS1 e URS2	134
Figura 91 - Resultados da simulação DEM a Urdir na URS7 e URS8	135
Figura 92 - Resultados da simulação NOP a carregar na Esq. A da URS1 e URS2	136
Figura 93 - Resultados da simulação NOP a carregar na Esq. A da URS7 e URS8	137
Figura 94 - Resultados da simulação NOP a carregar na Esq. B da URS1 e URS2	138
Figura 95 - Resultados da simulação NOP a carregar na Esq. B da URS7 e URS8	139
Figura 96 - Resultados da simulação NOP a descarregar na Esq. A da URS1 e URS7	140
Figura 97 - Resultados da simulação NOP a descarregar na Esq. A da URS7 e URS8	141
Figura 98 - Resultados da simulação NOP a descarregar na Esq. B da URS1 e URS2	142

Figura 99 - Resultados da simulação NOP a descarregar na Esq. B da URS7 e URS8	143
Figura 100 - Resultados da simulação NOP a Urdir na URS1 e URS2	144
Figura 101 - Resultados da simulação NOP a Urdir na URS7 e URS8	145

## Índice de Tabelas

Tabela 1 - Leitura Tradicional Vs Leitura Visual	47
Tabela 2 - N° teias urdidas no ultimo quadrimestre de 2010	75
Tabela 3 - N° de metros urdidos no ultimo quadrimestre de 2010	76
Tabela 4 - Total de minutos utilizados na produção do ultimo quadrimestre de 2010	77
Tabela 5 - Resumo da taxa de ocupação por máquina	77
Tabela 6 - Resumo da simulação do abastecimento	80
Tabela 7 -Resumo dos resultados da simulação	92



## **Lista de Abreviaturas**

OF – Ordem de fabrico

PT- Posto de trabalho

TPRC - Tempo de processamento remanescente mais curto

NOP - Número de operações

DEM – Data de entrega mínima

RC – Rácio crítico

PFA – Processamento por famílias de artigos

OP – Operário

SPT – Shortest processing time

WIP – Work in Process

UR –Urdideira

URS1 – Urdideira Seccional 1

ESQ - Esquinadeira



# 1. Introdução

A função da produção nos últimos anos tem sido uma das áreas da empresa que merece mais atenção por parte dos gestores. A diversidade dos produtos e a incerteza na procura são alguns dos motivos dessa preocupação, uma vez que condicionam negativamente a produtividade, reduzindo a competitividade da empresa.

Hoje em dia, muitas das empresas ainda se encontram a ajustar os seus sistemas de produção para esta nova realidade. Existem já no mercado ferramentas de apoio ao planeamento e controlo da produção. A programação da produção é cada vez mais uma preocupação das empresas no sentido de otimizar ao máximo os seus recursos, aumentando a produtividade sem comprometer a flexibilidade. É, contudo, reconhecidamente um problema muito complexo sem solução matemática em tempo útil.

A proposta deste trabalho visa a resolução do problema da programação das operações fabris, desenvolvendo um sistema de apoio a decisão através de regras heurísticas e uma ferramenta de simulação.

Este relatório está estruturado da seguinte forma: no capítulo 2 apresenta-se a metodologia da investigação utilizada durante a realização deste trabalho, uma revisão crítica da literatura, abordando algumas das técnicas da programação linear, métodos heurísticos e a utilização de ferramentas de simulação para a optimização de um sistema produtivo; no capítulo 3 inclui-se a aplicação de algumas das técnicas da filosofia *Lean* implementadas durante a investigação; no capítulo 4 apresenta-se a ferramenta de simulação utilizada e o resultado das regras heurísticas seleccionadas; no capítulo 5 tiram-se as conclusões e contribuições; finalmente apresentam-se as referências bibliográficas utilizadas neste trabalho. Em anexo disponibilizamos o conjunto de dados de uma forma mais detalhada desta investigação.

## 1.1 Objectivos

A realização desta dissertação centrou-se na programação da produção de uma secção numa empresa têxtil de forma a atingir os seguintes objectivos:

- Construção de um modelo logico-matemático capaz de sequenciar  $n$  ordens de fabrico para  $n$  máquinas;
- Minimizar os tempos de mudança;

- Reduzir atrasos;
- Maximizar a taxa de ocupação das máquinas;
- Aumentar a produtividade do subsistema em análise.

### 1.2 Apresentação da empresa

A empresa nasceu em 1937, sob a designação de Fábrica de Fiação e Tecidos do Vale, transformando-se em Sociedade Anónima em 1965. Hoje em dia é um grupo industrial e financeiro. O grupo TMG – Têxtil Manuel Gonçalves ocupa uma área total de 482.000m<sup>2</sup>, sendo 220.000m<sup>2</sup> de área coberta, tendo os seus escritórios centrais no Norte de Portugal, a cerca de 30 km do Porto, com as suas empresas instaladas nos concelhos de V. N. de Famalicão, Guimarães e Ponte de Lima.

A empresa consome internamente parte da sua produção, sendo o restante vendido no mercado interno e externo.

Dada a sua moderna e sofisticada estrutura, está apta a satisfazer as mais exigentes necessidades dos seus clientes.

#### 1.2.1 Organização do grupo

O grupo no conjunto das suas empresas está estruturado em diversas plataformas produtivas. A organização do grupo está dividida da seguinte forma:

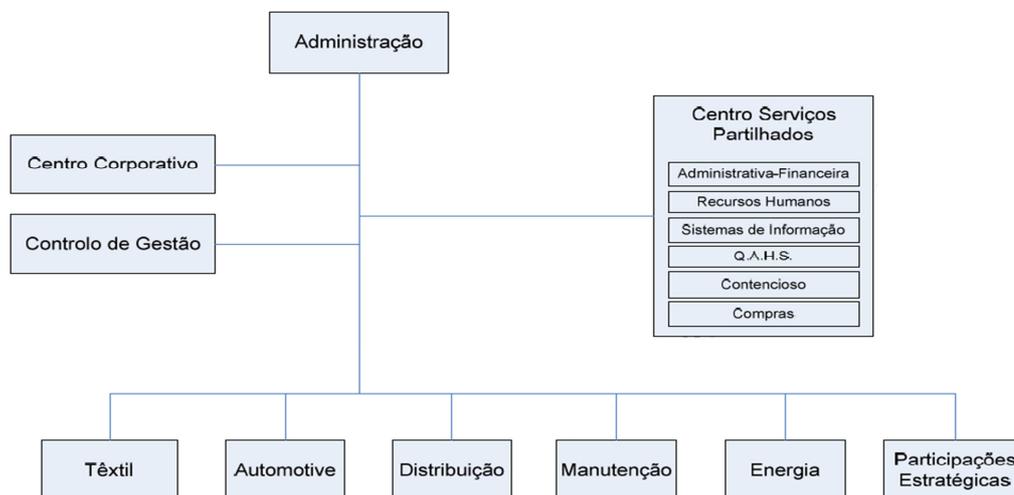


Figura 1 - Organograma do grupo

A plataforma têxtil está dividida em 4 áreas: Fiação; Tinturaria; Tecelagem e Acabamentos. A área do grupo no qual vamos centrar a nossa investigação é a Tecelagem.

## 1.2.2 Área de Negócio

De ano para ano, tem-se reflectido uma incerteza da evolução conjuntural no mercado Têxtil. Em 2009, foi iniciada na área têxtil do Grupo uma reestruturação com o objectivo de reduzir custos e otimizar processos. Com uma forte integração entre as varias funções importantes da empresa, essa estruturação dota a empresa para uma estrutura mais flexível que permita reagir mais rapidamente às mutações de mercado.

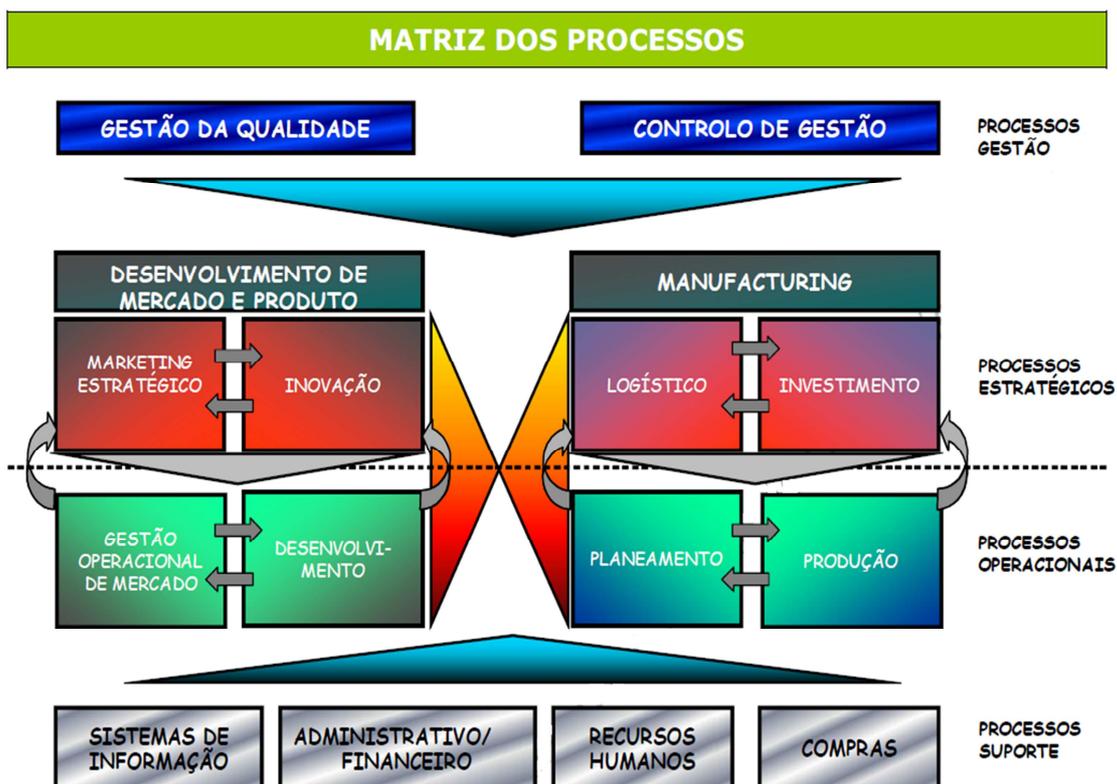


Figura 2- Matriz dos Processos

A área têxtil no qual realizamos a nossa pesquisa-ação, tem como objectivo principal a produção de tecidos de grande qualidade para as seguintes áreas de consumo: vestuário e decoração. Este processo engloba um conjunto de tarefas ao longo do processo produtivo. O processo está dividido em duas áreas de produção distintas:

- Preparação de tecelagem;
- Tecelagem;

O processo da preparação de tecelagem engloba um conjunto de tarefas que permite preparar o produto para o processo/secção seguinte. Este processo é constituído, por sua vez, por duas secções, as urdideiras e as encoladeiras.

A tecelagem é o processo produtivo que se designa por tecer, ou seja, entrelaçar fios de trama com fios urdidos (processo da preparação da tecelagem), de tal forma a que formem um tecido. O layout da empresa está organizado por secções, e estão implantadas conforme o fluxo normal dos artigos.

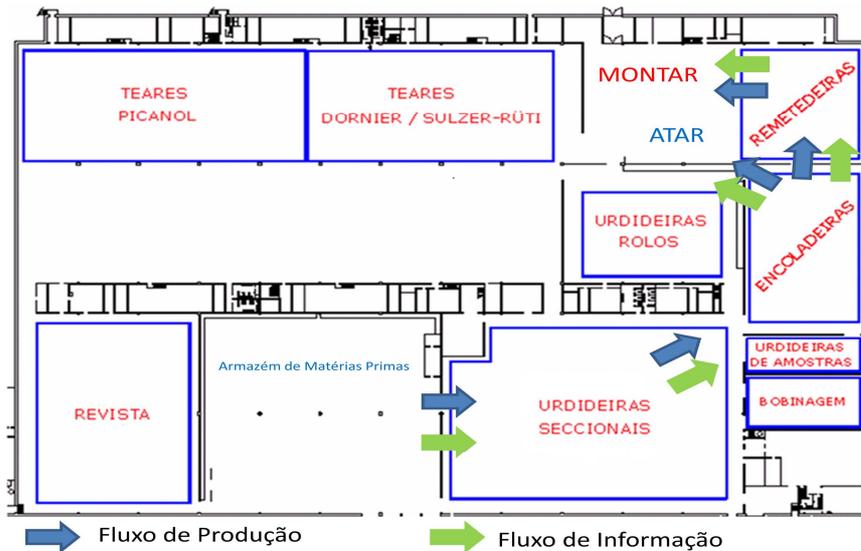


Figura 3 - Layout da tecelagem

O produto originado (tecido) pelo processo acima descrito, está ainda numa fase produtiva intermédia, isto porque, necessita de um acabamento para que o produto fique concluído. Os tecidos fabricados neste processo são utilizados para o vestuário e decoração. Uma das maiores vantagens competitivas centra-se na capacidade de introduzir no mercado produtos que se destacam pelas suas características técnicas e estéticas.

### 1.3 Sistema de Produção

O processo produtivo é um sistema de produção de bens, em que a sua produção é realizada por encomenda. As ordens de produção estão directamente ligadas com as encomendas dos clientes. A função da produção encontra-se interligada com varias funções da empresa, de forma a maximizar os seus serviços e a produtividade.

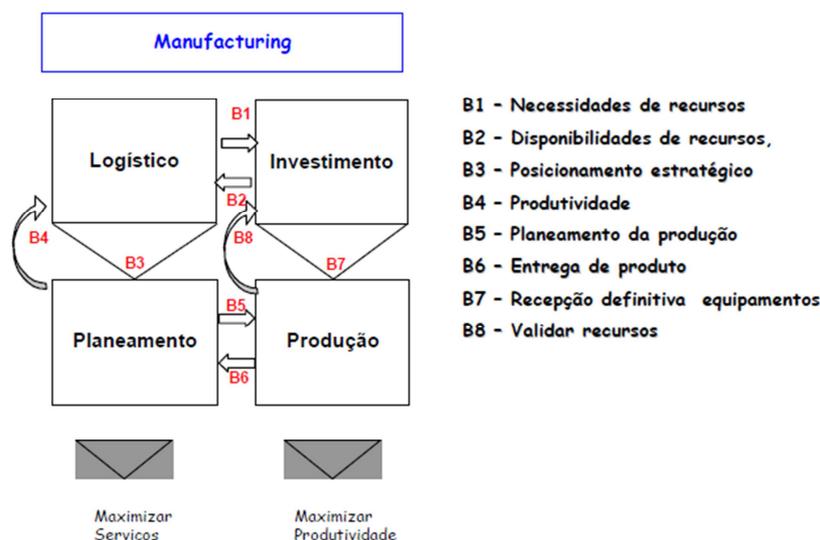


Figura 4 - Integração de processos

A matéria-prima utilizada no processo produtivo é o fio maioritariamente de algodão. O fio é fabricado numa empresa do grupo (fiação), embora em alguns casos por razões produtivas e económicas, tem origem em fornecedores concorrentes.

A matéria-prima é recepcionada e verificada pelos operadores do armazém que controlam a sua conformidade perante a encomenda. As matérias são, de seguida, alocadas em estantes e registadas informaticamente aguardando a ordem de produção.

Quando a ordem de produção está confirmada, o operador de armazém coloca na área da produção, na secção das urdideiras, todas as matérias-primas que são necessárias para produzir a encomenda.

O sistema de produção utilizado pela empresa é o tradicional Sistema *Push* (Empurrado), ou seja, é criada uma ordem de fabrico (OF) e, de seguida, o armazém de matérias primas abastece a Secção das Urdideiras, colocando o fio num espaço (*stock*) que esteja disponível, aguardando o momento em que a OF vai ser processada. Este tipo de espera poderá ser demorada, o que implica que a matéria prima pode estar ocupada para este artigo, não podendo ser utilizada noutro artigo.

## Introdução

O ciclo produtivo da empresa inicia-se na secção de Urdissagem. A operação urdir consiste em construir um sistema de fios paralelos, rigorosamente posicionados com o mesmo comprimento e tensões.

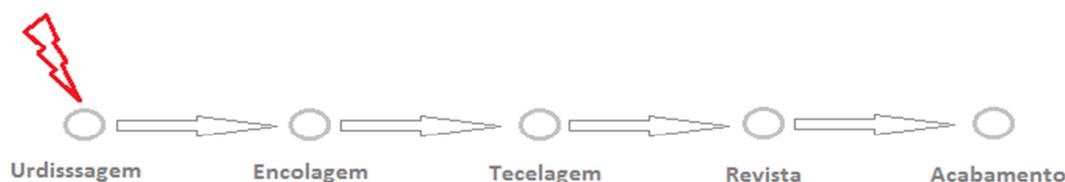


Figura 5 - Ciclo do processo produtivo

Para obter o processo final nesta secção é necessário executar três operações:

1. Carregar a Ordem de Fabrico
2. Urdir
3. Descarregar a Ordem de Fabrico

As urdideiras seccionais são compostas por três equipamentos:

- Esquinadeira;
- Urdideira de tambor horizontal;
- Mecanismo de enrolamento

As esquinadeiras são um suporte para a colocação de bobines de fio para urdir. Estas estruturas têm capacidade para suportar entre 640 e 720 bobines em cada esquinadeira. É nesta plataforma (Figura 6) onde se desenvolve a operação de carregar e descarregar a esquinadeira.

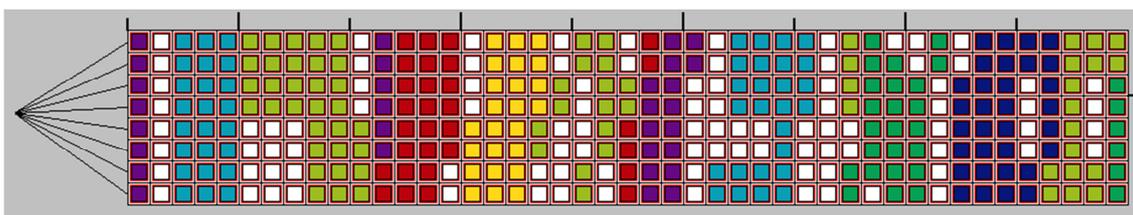


Figura 6 – Esquinadeira

O processo de urdir consiste em enrolar os fios da esquinadeira por faixas ou secções no tambor da Urdideira de acordo com o número de fios, que está definido na ficha técnica de cada artigo (ver Figura 14).



Figura 7 - Urdideira Seccional

O enrolamento é realizado quando termina a urdissagem de todos os fios. Este processo consiste em passar os fios do tambor da Urdideira para um órgão, que serve de transporte para as secções seguintes. O resultado final desta operação designa-se por teia.

Esta unidade produtiva possui quatro máquinas de urdir, cada uma constituída por duas esquinadeiras. As esquinadeiras servem de plataforma de suporte das bobinas para urdir. A Figura 8 mostra-nos o *layout* da secção em estudo.

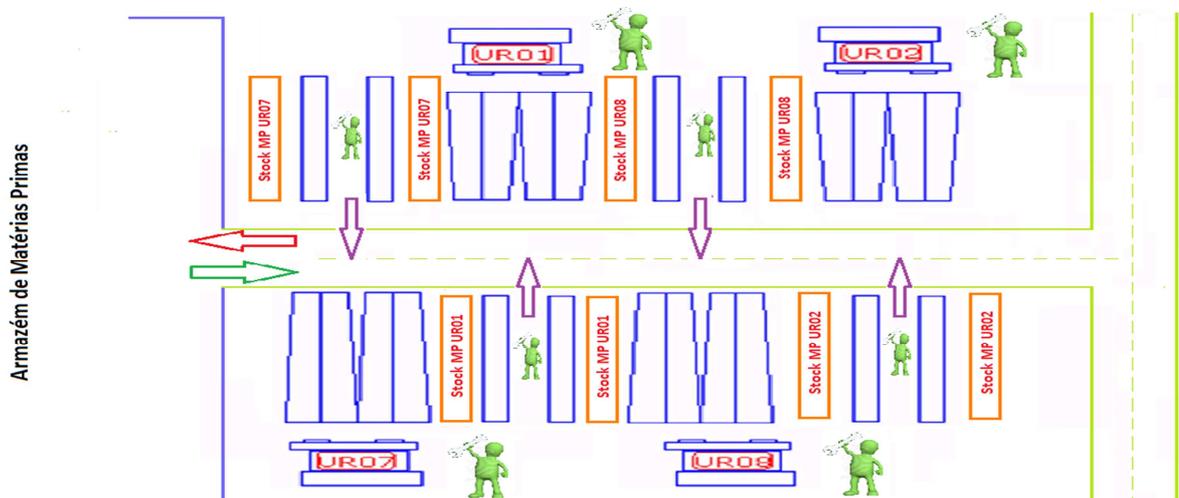


Figura 8 - Layout da secção das urdideiras

As três operações, referidas acima, são executadas por dois operários, um para as operações de carregar e descarregar as cargas e o outro para a operação urdir.

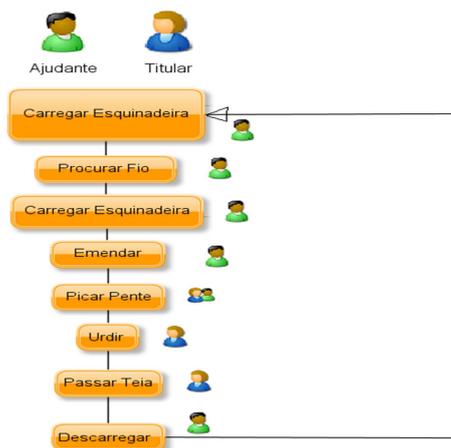


Figura 9 - Operações na Urdissagem

Um dos operários faz a carga da esquinadeira livre enquanto o outro executa a operação de urdir da OF1. Quando este termina a urdissagem, a carga da OF 2 deverá estar pronta para que os tempos de mudança sejam o menor possível. Depois da mudança, o operário urde a OF2 enquanto o outro operário descarrega a carga da OF1 e carrega a OF3.

A selecção deste problema deve-se ao facto de diariamente serem detectados tempos não produtivos nas mudanças das ordens de fabrico. A Figura 10 mostra-nos um exemplo de tempos de espera na mudança de uma ordem de fabrico.

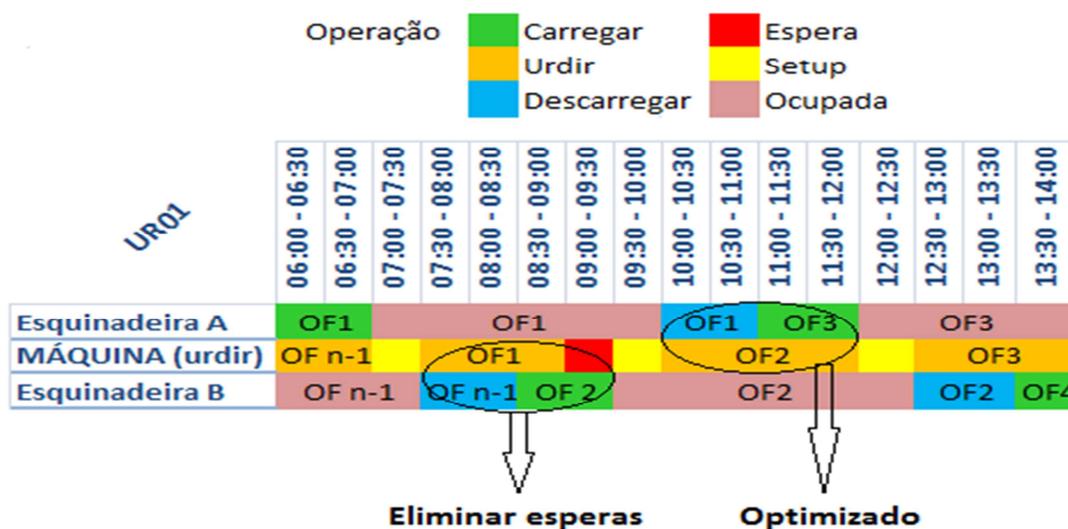


Figura 10 – Sequência das operações na UR01 para um turno de 8 horas

No ponto seguinte, apresentamos a estratégia para a realização da investigação no sentido de podermos reduzir este tipo de situações na organização.

## 2. Revisão crítica da literatura

Este capítulo apresenta a identificação do problema, a metodologia adoptada, as bibliografias utilizadas e uma revisão crítica da literatura sobre programação da produção. A pesquisa de métodos de optimização e heurísticas podem ser um contributo positivo para atingir o objectivo.

A utilização da simulação neste contexto pode ser uma ferramenta muito útil na aceitação/rejeição dos métodos.

### 2.1 Identificação do problema

A escolha desta organização teve em conta o meu relacionamento profissional, no qual tenho a responsabilidade de gerir recursos humanos e produção.

A questão que nos leva a realizar este projecto na área da programação da produção desta organização é o facto de não existir nenhuma ferramenta que apoie o programador no chão da fábrica, de forma a seleccionar a melhor sequência das ordens de fabrico no processo produtivo. O que permite tornar-se mais eficiente.

Dado o sentimento de necessidade, a nossa pesquisa vai centrar-se na secção inicial do processo produtivo.

#### 2.1.1 Metodologia

A metodologia utilizada para a realização deste trabalho é o método de exploração que consiste na realização de uma revisão de alguns artigos com matéria relevante para a resolução do problema da sequenciação das ordens de fabrico. Foram também realizadas algumas pesquisas sobre outros trabalhos de investigação já desenvolvidos neste contexto.

A nossa estratégia para a resolução do problema consiste na realização de uma investigação-acção (*action research*). Esta metodologia consiste na resolução de um problema através da obtenção de informação “in loco” que nos leve à sua resolução.

Durante a investigação, deverá existir um envolvimento cooperativo ou participativo em que o investigador e as pessoas responsáveis pelo processo (Eng. Produção e Operadores) devem ter uma participação muito forte na investigação. Além disso, deve permitir a identificação dos pontos críticos e a pesquisa de novas soluções, realizando uma análise do sistema produtivo, no sentido de identificar variáveis críticas,

(fluxo dos materiais, tempos de processamento, tempos de setup, etc.). Todos os dados e informações devem ser retirados do processo com clareza e têm de ser partilhados pelo grupo de trabalho de forma a obtermos dados exactos. O tempo para a realização desta investigação académica é um pouco limitado, contudo é um trabalho para continuar no futuro no sentido de otimizar cada vez mais o processo.

### **2.1.2 Fontes Bibliográficas**

A pesquisa bibliográfica é uma tarefa importante para a realização de qualquer tipo de investigação. A selecção das palavras-chave é um ponto estratégico na obtenção de artigos com informação crítica para a investigação. Depois da definição do problema, foi realizado um levantamento de artigos associados ao nosso tema, que nos permitiu seleccionar algumas das ideias para a realização da investigação-acção. Estes artigos foram conseguidos através de uma pesquisa na base de dados dos serviços de documentação da Universidade do Minho. A Internet foi o método utilizado para a pesquisa destes artigos científicos através do motor de pesquisa Google. As palavras-chave utilizadas para a pesquisa destes artigos são: Sequenciação; Programação da produção; Heurísticas; Simulação.

A Biblioteca da Universidade do Minho e Universidade Lusíada foram outros locais de pesquisa de bibliografia para a realização da revisão crítica. Durante a escolha dos artigos, tentámos dar importância às fontes, para que a informação fosse o mais autêntica possível, de forma a credibilizar o nosso trabalho.

A maioria das fontes utilizadas, nesta revisão da literatura, foram as fontes secundárias (artigos, revistas científicas e livros). As fontes primárias (relatórios e teses) também fazem parte da nossa investigação.

## 2.2 Estrutura do planeamento

O planeamento industrial de produção é um processo complexo. A estrutura do planeamento utilizada na organização encontra-se dividida em várias etapas, consoante o horizonte temporal e o nível de detalhe disponível.

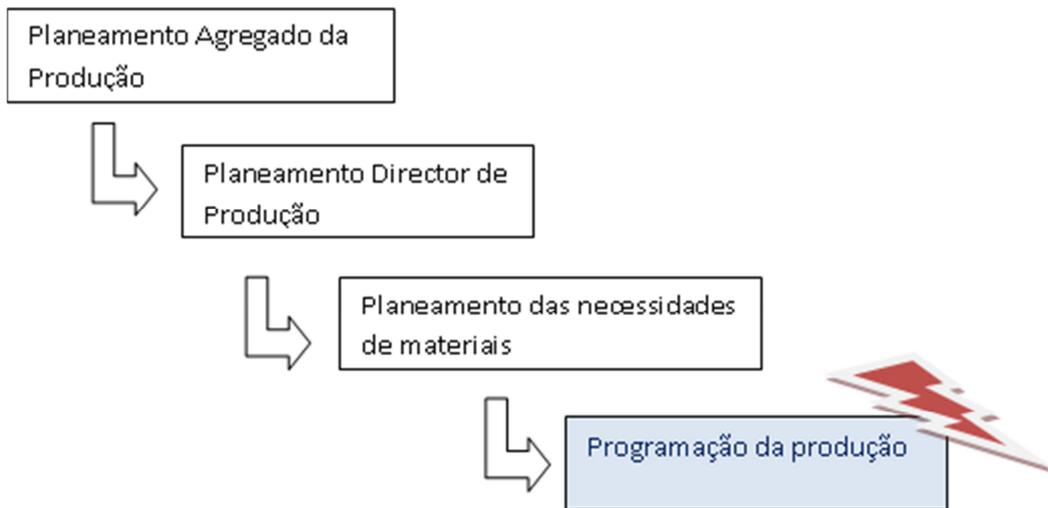


Figura 11 - Estrutura do planeamento da organização

O planeamento agregado da produção ocupa o primeiro nível na estrutura de planeamento. É neste nível do planeamento que se gera um plano de produção, tendo em conta a estratégia da organização, definindo as suas quantidades a produzir, num horizonte temporal mais alargado (1 Ano). Nesta fase ainda não são conhecidas as encomendas, apenas baseiam-se em dados históricos (previsões).

Por sua vez, o planeamento director de produção define de uma forma muito precisa a calendarização das quantidades a produzir para cada produto a produzir pela empresa. Neste nível já existe o conhecimento das encomendas, é um nível mais operacional e é nesta fase que as encomendas se transformam em ordens de fabrico.

Já o planeamento das necessidades de materiais determina todos os componentes e matérias-primas necessárias para produzir todos os produtos necessários para cada período.

Finalmente, a programação da produção nesta estrutura de planeamento é a que está ligada ao espaço fabril e tem um carácter de curto prazo. É nesta fase que se define

a sequência da produção e a selecção das máquinas a utilizar. Segundo Pinedo (1995), “a programação é um processo de decisão que tem como função a optimização de um ou mais objectivos”. Para Carlier and Chrétienne (1988) “a programação é prever a transformação de uma obra através da atribuição de recursos a tarefas e fixar os seus tempos de início”. Enquanto para Baker (1974), “a programação é a afectação de recursos ao longo do tempo de forma a cumprir um conjunto de tarefas. Caracteriza-se pela sua natureza combinatoria, que se situa na classe dos problemas discretos, e aplica-se a quer a tarefas simples quer a ambientes complexos do tipo dos sistemas flexíveis”. Para Roldão (1995) “ o planeamento e a programação constituem em conjunto uma área do conhecimento automatizada que está fortemente ligada a outras disciplinas: teoria da optimização, métodos de pesquisa heurística, teoria dos grafos, teoria da complexidade, etc., que lhes fornecem normalmente estruturas de suporte para se expressar de uma forma mais concisa e mais precisa”.

Os problemas da programação da produção são encontrados em todos os sectores de actividade, geralmente podemos distingui-los entre os problemas da indústria transformação e os de sistemas de informação ou até de gestão de projectos. Independentemente da estrutura do planeamento, é importante conhecer as necessidades de materiais dos produtos finais. Após este processo é necessária a criação das ordens de abrigo. Um dos métodos mais utilizados é o MRP (Material Requirement Planning). Este método é um sistema informático que estabelece um plano de produção onde são definidas as quantidades e as datas de cada um dos componentes.

## 2.3 Programação da produção

O controlo das operações no *chão* da fábrica é cada vez mais complexo e exigente. A influência de factores internos e externos é tão grande que o programador tem que reprogramar as operações de forma a responder às mudanças. A procura da solução óptima poderia levar a muitas horas de cálculos uma vez que a programação da produção altera cada vez que um artigo entra em produção e tem mais prioridade que outro.

Segundo João Paulo Pinto (2006) “*muita da complexidade dos sistemas reside na função programação. Cada ambiente de trabalho está sujeito a condições dinâmicas e a eventos imprevistos que podem acontecer a qualquer momento (ex: encomendas não planeadas, avarias e atrasos.)*”. Os problemas da programação do dia-a-dia das nossas empresas são complexos e de resolução muito difícil. Podendo não ser encontradas as soluções óptimas, são encontradas apenas soluções que resolvem o problema com a eficiência possível. As medidas de desempenho que normalmente são utilizadas para avaliar o desempenho da programação são o tempo de percurso e os atrasos das unidades no sistema.

Nos sistemas de produção em massa, a variedade de produtos é muito reduzida. Aqui a programação da produção torna-se simples de resolver. O grande problema é quando existe uma grande variedade de produtos e varias máquinas. Neste caso o número de soluções cresce de uma forma exponencial. Neste tipo de problemas não existem regras nem a programação linear determina a solução óptima, indica apenas uma boa solução.

Exemplo – Programação para uma semana de produção em 4 máquinas que realizam em media 24 operações diárias (120 operações). Se essas 120 operações forem seleccionadas de um conjunto de 240 encomendas existentes (procura média para duas semanas). Obtemos os seguintes valores:

Permutações 240,120.

$$P(n, r) = \frac{n!}{(n - r)!} \quad P(240, 120) = (240, 120) = 6,081E+269$$

Este valor permite-nos ter uma ideia da quantidade de soluções que o gestor tem de enfrentar para programar uma semana de trabalho. Destas soluções qual é a melhor?

O aumento da diversidade dos produtos, as mudanças imprevisíveis, as variações nos prazos de entrega e as variações nos volumes de produção, provocam bastantes problemas na programação da produção. Neste sentido torna-se necessário a adoção de sistemas de produção flexíveis que permitem a adaptação á mudança, de forma a tornar as empresas competitivas.

Segundo Gerwin (1993), *“a flexibilidade está sempre fortemente ligado a incerteza... tende a ser reduzida por vários meios, um dos quais é o aumento da flexibilidade”*. Para Lui e MacCarthy (1993) *“ um sistema de produção flexível é composto por três elementos principais: máquinas controladas por computador; um sistema de transporte automatizado e um sistema de controlo por computador.”*

Apesar da evolução dos equipamentos, nas indústrias com a produção tradicional (Sistemas empurrados), a grande quantidade de setups originam uma taxa de eficiência bastante baixa. Para aumentar a eficiência neste tipo de sistemas torna-se assim necessário recorrer à optimização nas sequências das tarefas de forma a reduzir o máximo possível os tempos de setups e as esperas de produto para produto.

A partir dos anos 70, foram desenvolvidos métodos para resolver os problemas da programação de produção no chão da fábrica. Segundo MacCarthy e Lui (1993), os três principais métodos são: Métodos eficientes de optimização; métodos de optimização enumerativos e métodos heurísticos.

## 2.4 Métodos de otimização

**Será possível resolver o problema através da obtenção da solução óptima?**

### Algoritmos de otimização

**Os métodos eficientes de otimização** normalmente geram uma programação baseada numa função matemática. Estes modelos suportam um número limitado de variáveis significativas aplicáveis a situações específicas.

**Os métodos de otimização enumerativos** envolvem uma enumeração parcial de um conjunto de possíveis soluções para a programação. As técnicas mais utilizadas nestes métodos são: a **programação matemática** e o **método *branch and bound***. Os critérios da programação são definidos na função objectivo e as restrições representam as condições que representam o sistema.

A **programação matemática inteira** procura a solução óptima através de métodos de investigação operacional, recorrendo a cálculos de matrizes encontrando um conjunto de soluções até obter uma solução inteira.

A **programação dinâmica** é mais um método de otimização. Este método enumera todas as soluções possíveis e vai eliminando soluções durante a sua enumeração. A programação dinâmica pode ser aplicada a qualquer problema que possa ser decomposto em problemas encadeados, podendo a solução ser encontrada a partir do conhecimento da solução do problema anterior.

Normalmente, os problemas que estes métodos podem resolver com mais eficiência, são situações em que só existe uma ou no máximo duas máquinas, (Carlier, 1982).

Os problemas da programação são de natureza combinatória. Existem  $(n!)$  de soluções possíveis para a programação de  $n$  ordens de fabrico e  $m$  máquina. Nestes métodos, algumas das soluções podem ser executadas, mas o tempo de execução é tão elevado que se torna inaceitável na prática. É neste sentido que a utilização das heurísticas tem como objectivo encontrar uma óptima solução, (Uysal & Bulkan, 2008).

Podemos assim concluir que, quando se trata de problemas de programação de grande dimensão e complexidade, os métodos de otimização não são os mais indicados. Nestes casos os métodos indicados para resolução são os heurísticos, que permitem obter soluções satisfatórias.

## Métodos Heurísticos

Classificação do problema segundo a comunidade científica!

Problema de *Job Shop*

De acordo com Zhou et al (2001), o problema da programação de tarefas num ambiente *job shop* pode ser definido por um conjunto de  $m$  máquinas e um conjunto de  $n$  tarefas, onde cada tarefa consiste numa sequência ordenada de  $x$  operações. Cada operação é processada numa máquina num determinado tempo sem interrupção e uma máquina pode processar somente uma operação por vez. O problema consiste em programar as operações das tarefas de forma a otimizar a medida de desempenho conhecida como *makespan* – o tempo mínimo em que todas as tarefas estarão concluídas. (Baker, 1974) Segundo Zhou et al (2001), a sequência num ambiente Job shop é um ponto importante na área da programação da produção. O objectivo desta sequência é minimizar o tempo das ordens de fabrico nas máquinas, reduzindo os tempos de setup.

Segundo E.Lawler et al (1993), o problema da programação de um Job shop é um dos problemas mais difíceis de optimização combinatoria.

Para Tarantilis e Kiranoudis (2002), num ambiente Job shop existem algumas restrições na definição das sequências; precedência para cada peça deve ser respeitada; cada máquina executa uma ordem de fabrico de cada vez; as operações em execução não podem ser interrompidas. Para Montevechi et al (2002), o sequenciamento em Job shop pode ser optimizado através de algoritmos ou regras heurísticas de forma a encontrar a solução óptima.

### **Qual será a classe de heurísticas mais indicada para resolver o problema?**

Existe na literatura uma grande variedade de heurísticas para a resolução do nosso problema de sequenciação com o objectivo de minimização dos tempos de setups entre as ordens de fabrico. Alguns investigadores aplicaram heurísticas em várias situações e concluíram que, a configuração do problema (estrutura da fábrica, numero de máquinas e todas as variáveis que interferem na programação), bem como o objectivo, origina diferentes resultados. Para eles, as regras heurísticas devem ser definidas conforme as definições do problema e os seus objectivos. (Roldão, 1995)

Para Zhou et al (2001), encontrar a solução óptima para o problema Job shop com os métodos tradicionais de optimização torna-se difícil devido a complexidade computacional.

Segundo Carlier et al (1989), para obter soluções óptimas com estes métodos de optimização o número de máquinas e de tarefas tem de ser reduzidos.

Para Kanet e Hayya (1982), o desempenho das regras heurísticas quando relacionadas com os prazos de entrega, pode se melhorado se forem aplicadas a operações e não a tarefas. Neste caso, **os prazos de entrega** de cada operação são calculados após o estabelecimento dos prazos de entrega das tarefas. Então, quando se aplica este tipo de regras heurísticas as operações, os atrasos podem ser reduzidos. Também JR. Blackstone et al (1982) verificou que as regras baseadas em **tempo de processamento** cumprem melhor quando não existe controlo sobre as datas de entrega. Nos métodos heurísticos, o procedimento consiste em especificar uma regra de prioridade para seleccionar uma operação entre várias operações candidatas a serem realizadas na mesma máquina, Montevechi et al (2002).

Montevechi et al (2002) apresenta quatro das principais **regras de prioridade** apresentadas por alguns autores: **SPT** (*Shorttest processing time*), esta regra dá prioridade à ordem de fabrico cujo o seu tempo de processamento é mais reduzido, (Lawrence & Sewell, 1997) , (Baker, 1974), (Zhou, Feng, & Hang, 2001); **LPT** (*Longest processing time*), dá prioridade à OF (Ordem de Fabrico) com mais tempo de processamento, (Lawrence & Sewell, 1997); **MWKR** (*Most work remaining*), nesta técnica a prioridade vai para a OF que tem mais tempo de processamento nos postos de trabalho seguinte, , (Lawrence & Sewell, 1997), (Baker, 1974), (Zhou, Feng, & Hang, 2001); **LWKR** (*Least Work Remaining*), ao contrário da técnica anterior , esta prioriza a OF que menos tempo de processamento gasta nos PT seguintes, (Lawrence & Sewell, 1997), (Baker, 1974).

Para Raghu e Rajendram (1993), a regra mais eficiente para a minimização de atrasos é o **SPT**, enquanto que para Zhou et al (2001), a regra que apresentou melhores resultados na minimização dos atrasos foi a **MWKR**.

Para Roldão (1995), as principais regras heurísticas utilizadas são: **DEM** (data de entrega mínima), em que o objectivo é o prazo de entrega; **FOLGA**, em que o objectivo é o prazo de entrega mínimo com a folga mínima; **RC** (rácio crítico), esta técnica é baseada no prazo de entrega, sendo realizado um rácio entre a folga e o tempo de processamento, ou o rácio entre o prazo de entrega e o tempo de processamento; **TPRC**

(tempo de processamento remanescente mais curto), cujo o objectivo desta técnica é minimizar o tempo de processamento, ou seja, processar as tarefas com os tempos de operação mais curtos; **NOP** (número de operações), esta regra tem como finalidade processar as tarefas com o menor número de operações. Segundo ele, as regras **DEM** e **FOLGA** são pouco aplicadas quando existem tempos de espera. Neste caso a melhor é a TPRC porque cumpre bem os prazos de entrega. As **DEM**, **FOLGA** e **RC**, resolvem quando a carga é baixa. Quando a carga é elevada e o sistema está congestionado a regra **TPRC** encontra boas soluções. Já para Conway (1965), a **NOP** é mais eficiente quando o número de operações é elevado.

### Outros algoritmos e regras heurísticas

Para a resolução deste tipo de problemas em ambiente *Job shop* existem muitas outras técnicas e métodos de optimização. Os algoritmos genéticos são das heurísticas mais estudadas e desenvolvidas nos últimos anos. John Holland foi o autor da criação destas heurísticas no final da década de 60, baseiam-se na dinâmica natural das espécies para fazer evoluir um conjunto de soluções para um determinado problema. A representação de soluções do algoritmo genético é feita através de uma *string* de *bits*, chamada de cromossoma. Existem vários tipos de codificação, desde cromossomas de inteiros, números reais e variáveis binárias. Um conjunto de soluções num algoritmo genético, faz-se um processo de selecção entre suas representações para escolher quais as que passam pelo processo de cruzamento, onde seus *bits* são permutados entre si, a partir de uma determinada regra. (Brown & Scherer, 1995)

Uckun, et al. (1993), criaram um sistema chamado de *Vanderbilt Schedule Optimizer Prototype* (VSOP) para explorar a utilização da programação em *Jobshop*. O objectivo é desenvolver uma representação para a programação no chão de fábrica, indicando os algoritmos genéticos como um razoável método de pesquisa. Neste sistema os Cromossomas em VSOP apresentam uma sequência de operações para uma determinada máquina. Esta representação é bastante flexível e adapta-se muito facilmente a reordenação da sequência. Por exemplo as ordens de fabrico com mais prioridade são inseridas no cromossoma para restabelecer uma nova sequência. Os algoritmos genéticos podem de uma forma muito rápida identificar soluções, mas pode não ser a melhor solução. Os Algoritmos Genéticos (AGs) necessitam somente de informação sobre o resultado da função objectivo para cada membro da população para

sua aplicação, ou seja, não necessitam de uma função matematicamente explícita, tornando o algoritmo bastante aplicável na otimização de modelos de simulação, já que estes não apresentam funções matemáticas explícitas, Montevechi et al (2004).

Vaessens et al (1996), compararam vários algoritmos e heurísticas e concluíram que a **Busca Tabu** (*Search Tabu*) apresenta bons resultados em termos de solução ótima e tempos de computação, e garantem que a heurística *simulated annealing* não se apresenta como solução para a resolução de problemas num ambiente *Job Shop*.

A Busca Tabu é um método baseado na busca local na pesquisa da melhor solução na sua vizinhança. Durante a sua execução guarda em memória a melhor solução. Este método foi desenvolvido por Glover (1989), para a resolução de problemas combinatórios.

Depois de uma revisão feita a alguns artigos sobre heurísticas para a resolução do nosso problema no ambiente Job Shop, podemos concluir que cada autor defende cada um a sua teoria, mas tendo em conta a opinião geral de alguns deles, algumas das regras de prioridade e a Busca Tabu são bastante referidas como sendo uma boa solução.

**Qual seria o aumento de produtividade se adoptarmos heurísticas?**

## 2.5 Simulação

Ao longo da revisão bibliográfica encontramos soluções para qualquer tipo de problema de programação. Seja qual for a regra utilizada, o recurso a uma ferramenta de simulação permite-nos visualizar o resultado da regra ou regras de uma forma rápida e comparar os resultados dos cenários, podendo desta forma aceitar/ rejeitar a solução.

Esta técnica fornece aos utilizadores uma ferramenta capaz de calcular os resultados da sua decisão de uma forma muito rápida e permitir a alteração durante a simulação. A vantagem da utilização deste método é que nos permite a análise de várias situações e objectivos. *Q.Hao & W.Shen (2008)* afirmam que a optimização combinada à simulação tem sido utilizada em diversas aplicações de sistemas produtivos, uma vez que a optimização destes sistemas é bastante complexa para ser resolvida utilizando-se apenas abordagens matemáticas.

A utilização da técnica de simulação teve um grande crescimento nos últimos anos. Este aumento deve-se ao facto do grande poder das novas tecnologias e ao desenvolvimento de linguagens de simulação. Para Torga et al (2006), a simulação não é uma ferramenta mágica que substitui o trabalho humano, mas sim uma ferramenta poderosa capaz de fornecer resultados para a análise da dinâmica do sistema. Segundo C. R. Harrel et al (2000), *“simulação é a imitação de um sistema real, modelado em computador, para a avaliação e melhoria do seu desempenho”*. Para Shannon (1975), *“a simulação não é uma teoria, mas uma metodologia de resolução de problemas, é um método de modelação utilizado para implementar e analisar um procedimento real (físico), proposto em um computador (de forma virtual) ou em protótipos (ensaios), ou seja, simulação é o acto de imitar um procedimento real em menor tempo e com menor custo, permitindo um estudo detalhado de acontecimentos passados, presentes e futuros”*. Assim a simulação permite a visualização dos resultados de uma mudança, sem alterar a realidade de um sistema de produção, através de um ambiente controlado permite estudar o comportamento de sistemas sem riscos físicos, alterações no chão de fábrica e grandes custos envolvidos. (Oliveira, 2008)

Para Pinho et al (2008), a grande vantagem da utilização da simulação está na capacidade de responder a questões do tipo “o que aconteceria se...?”. Para simular um processo e obter melhorias de desempenho é necessário construir os cenários o mais real possível, de forma a poder identificar potenciais desperdícios e elimina-los, permitindo

assim encontrar novas estratégias, por exemplo, a alteração de layout, introduzir a filosofia *pull*, etc. Após a construção de cenários é necessária a execução da simulação para cada cenário e avaliar os resultados. Este processo pode consumir muito tempo e pode não garantir as melhores configurações. O objectivo de associar as técnicas de optimização a simulação é precisamente para resolver estes problemas. (Pinho, Montevechi, & Martins, 2008). Banks et al (2005), falam em optimização via simulação quando definem um problema onde o objectivo é a minimização ou maximização de medidas de desempenho. O’Kane et al (2000) afirma que a simulação tem-se tornado numa das técnicas mais utilizadas para a análise de problemas complexos em ambientes industriais.

Para o nosso problema em estudo e tendo em conta um sistema produtivo muito irregular, a simulação poderá contribuir para a validação de heurísticas/técnicas adequadas, tentando sempre o recurso às técnicas referidas acima, no sentido de encontrar a solução óptima que nos permita a redução dos tempos de setup, contribuindo para uma taxa de produção mais elevada

**Conseguiremos, através da utilização de heurísticas e com apoio da ferramenta de simulação melhorar o desempenho da unidade industrial?**



### 3. Aplicação de técnicas da Filosofia Lean thinking

A implementação de uma nova filosofia de produção numa empresa que trabalha a mais de 50 anos com a mesma filosofia pode tornar-se num problema muito complexo. Hoje em dia, os mercados exigem uma grande diversidade e rapidez na resposta dos produtores face as exigências dos clientes, que pode implicar o fim de muitas empresas que não se adaptam a essa nova filosofia.

Womack e Jones (1990) foram os autores que divulgaram no ocidente a filosofia de produção criada por **Tahichi Ohno**. Inicialmente era conhecido por *Toyota Production System*, mais tarde a filosofia de Ohno foi baptizada por **Womack e Jones** passando-se a chamar *Lean Manufacturing*. Embora exista uma diversidade de termos, *Lean* poderá ser resumido em três palavras: Eliminação de Desperdício.

O *Lean Manufacturing* permite a qualquer tipo de empresa eliminar desperdícios onde quer que eles estejam e fazer com que o cliente receba somente aquilo que deseja, no momento certo e na quantidade requisitada.

Esta mudança de pensamento necessita de um grande apoio por parte da gestão de topo para que a implantação seja o mais sólida possível.

Alguns autores referem cinco elementos como principais para o sucesso da produção magra.

Para (Feld, 2001), “ *uma plena implantação desses elementos impulsionam a empresa no caminho de se tornar uma organização de classe mundial*”. Para ele os cinco elementos são:

1. Fluxo Produção, este elemento aborda a forma como as mudanças físicas são implementadas;
2. Organização, este aspecto foca as identificação de pessoas, as suas funções, formação em novas formas de trabalhar e comunicação;
3. Controlo de Processos, este ponto está direccionado a monitorização, controlo, estabilidade e melhoria continua;
4. Métricas, medidas de desempenho baseado em resultados visíveis.

5. Logística, este elemento fornece a definição de regras de exploração e mecanismo de planeamento e controlo do fluxo do material.

**Manufacturing Flow**

1. Product/quantity assessment (product group)
2. Process mapping
3. Routing analysis (process, work, content, volume)
4. Takt calculations
5. Workload balancing
6. Kanban sizing
7. Cell layout
8. Standard work
9. One-piece flow

**Organization**

1. Product-focused, multi-disciplined team
2. Lean manager development
3. Touch labor cross-training skill matrix
4. Training (lean awareness, cell control, metrics, SPC, continuous improvement)
5. Communication plan
6. Roles and responsibility

**Process Control**

1. Total productive maintenance
2. Poka-yoke
3. SMED
4. Graphical work instructions
5. Visual control
6. Continuous improvement
7. Line stop
8. SPC
9. 5S housekeeping

**Metrics**

1. On-time delivery
2. Process lead-time
3. Total cost
4. Quality yield
5. Inventory (turns)
6. Space utilization
7. Travel distance
8. Productivity

**Logistics**

1. Forward plan
2. Mix-model manufacturing
3. Level loading
4. Workable work
5. Kanban pull signal
6. A,B,C parts handling
7. Service cell agreements
8. Customer/supplier alignment
9. Operational rules

Fonte: (Feld, 2001)

A aplicação das técnicas do *Lean Manufacturing* é um desafio para toda a organização. A nossa preocupação foca segundo William Feld o controlo do processo (Feld, 2001).

Para Dinis Carvalho (2010), em Portugal são poucas as empresas que adoptam “lean” de forma estratégica e sustentada. Para ele “Implementar “lean” nas empresas inclui mudanças nas relações com os recursos humanos, todos terão de participar activamente na mudança e para isso terá forçosamente de haver mais transparência da gestão. Cada colaborador deve entender o seu papel no desempenho da sua unidade produtiva”.

As secções seguintes deste capítulo descrevem a implementação de algumas metodologias no chão da fábrica.

### 3.1 Metodologia dos 5S Housekeeping

Esta metodologia teve origem no Japão, baseando-se na cultura deste povo. A maioria dos gestores não dão importância a esta técnica, pois é uma técnica muito simples que não os estimula, preferindo claramente a aposta nas novas tecnologias para obter lucros.

Para Pinto, esta técnica “*é um dos aspectos mais visíveis da transformação levada a cabo pela filosofia TPS/JIT*”. Para ele “*esta ferramenta faz parte do princípio da visibilidade, ou seja, tornar visíveis os problemas onde quer que possam existir*”, (Pinto, Setembro 2006).

Os 5s são basicamente uma metodologia simples que permite manter o trabalho limpo e arrumado.

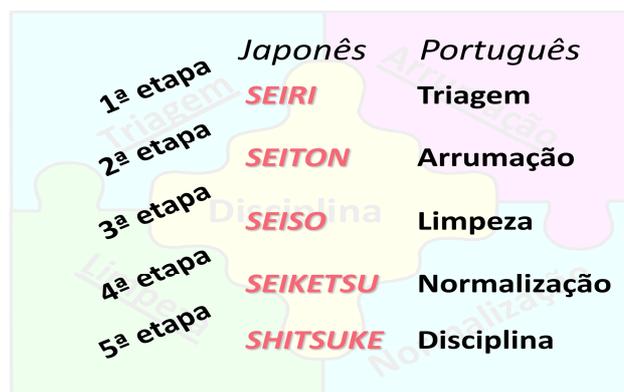


Figura 12 -Os 5s

Após várias leituras sobre esta técnica, podemos descrevê-la de uma forma muito simples:

**O primeiro S (*Seiri*) triagem**, permite classificar os itens em necessários ou desnecessários, ou seja, eliminar tudo o que está a mais de forma a ter no posto de trabalho unicamente aquilo que se necessita.

Após a aplicação da triagem, **o segundo S (*Seiton*) arrumação**, esta etapa consiste em classificar os itens por uso e arruma-los adequadamente, a fim de minimizar o tempo de procura.

**O Seiso é o terceiro S significa limpeza**, esta fase consiste em limpar e manter tudo limpo (máquinas, ferramentas, postos de trabalho, etc).

**A Normalização é o quarto S (Seiketsu)**, tem como objectivo a criação de normas aplicáveis a cada uma das situações.

Finalmente o **5 s (Shitsuke) a disciplina**, o objectivo desta etapa é fazer com que as normas sejam cumpridas por todos, ou seja, manter todas as regras definidas nas etapas anteriores.

Dada a importância que os autores atribuem a esta técnica para obtermos melhorias no processo produtivo, é importante a aplicação desta técnica na nossa área de investigação. As imagens seguintes mostram a importância desta aplicação.

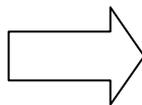
### 3.1.1 Aplicação dos 5S

Não é de um dia para o outro que se muda uma cultura dentro de uma organização, contudo, foi iniciado na plataforma industrial a aplicação da metodologia. É claro que o envolvimento e o interesse dos colaboradores é fundamental para que esta cultura seja implementada e mantida. As imagens seguintes mostram alguns resultados das acções implementadas até ao momento na secção das urdideiras.

Antes:



Agora:



Podemos observar uma maior organização na localização das cores, permitindo assim uma procura mais rápida da matéria prima.

Este é apenas uma pequena aplicação desta metodologia, permitindo uma maior organização nos espaços de movimentação de matérias primas. Contudo é um ponto de partida para a mudança de filosofia.

### 3.2 Gestão Visual

A Gestão Visual é mais uma técnica simples da filosofia *Lean*, basicamente a gestão visual é uma forma de comunicação que pode ser observada por qualquer colaborador que trabalhe ou que esteja de passagem pela área onde a informação esteja visível.

Esta técnica mostra a informação sobre os processos de produção, instruções de manutenção e limpeza, ou actividades básicas diárias num formato visual, afixada nos locais onde é necessária.

De acordo com (Greif, 1991), um sistema de gestão visual deve envolver as seguintes etapas:

- *Visibilidade das anomalias*: para que a interpretação do campo visual permita o reconhecimento rápido das anomalias, permitindo que todos possam adoptar o papel de observador.
- *Desenvolvimento do sistema de respostas*: esse sistema deve transmitir um rápido “feedback”, dispondo de mensagens acessíveis e assegurar a partilha das informações dentro do grupo de trabalho, diminuindo assim o tempo entre a ocorrência do problema e a análise do mesmo.
- *Registo das anomalias*: deve-se criar uma forma de registar as anomalias, para que as mesmas sejam analisadas posteriormente e as suas causas principais possam ser identificadas para a tomada de acções correctivas.

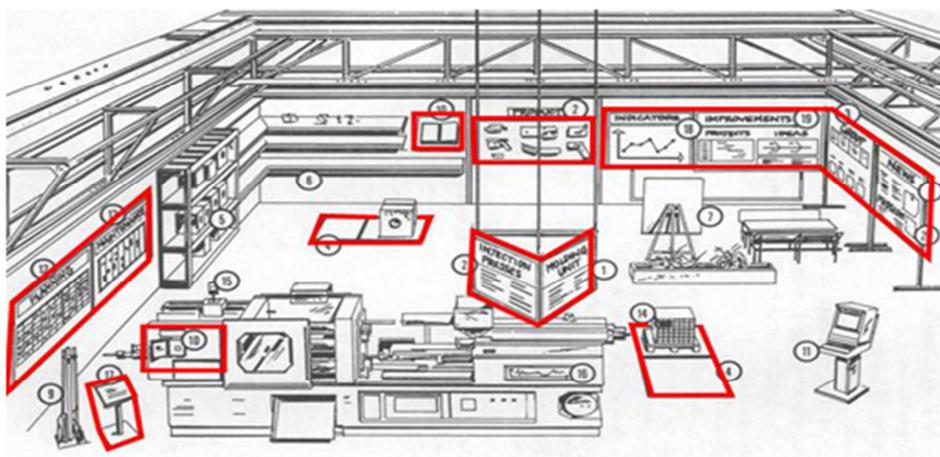


Figura 13 - Exemplo de Gestão Visual

Fonte: [www.vpk-engineering.com](http://www.vpk-engineering.com)

Este tipo de ferramenta tem como objectivo:

- ✓ Tornar as pessoas mais observadoras;
- ✓ Atentas no desempenho das funções e educar no sentido de controlar os recursos utilizados;
- ✓ Ceder informações acessíveis e simples, capazes de facilitar o trabalho diário;
- ✓ Fortalecer a autonomia dos funcionários, no sentido de aumentar os relacionamentos;
- ✓ Descobrir, determinar e eliminar desperdícios que ocorrem nas organizações produtivas.

### 3.2.1 Aplicação da Gestão Visual

Uma das dificuldades apresentadas pelos operadores durante a investigação é a difícil leitura da Ficha Técnica, nos artigos mais complexos, durante a operação de carregar a esquinadeira.

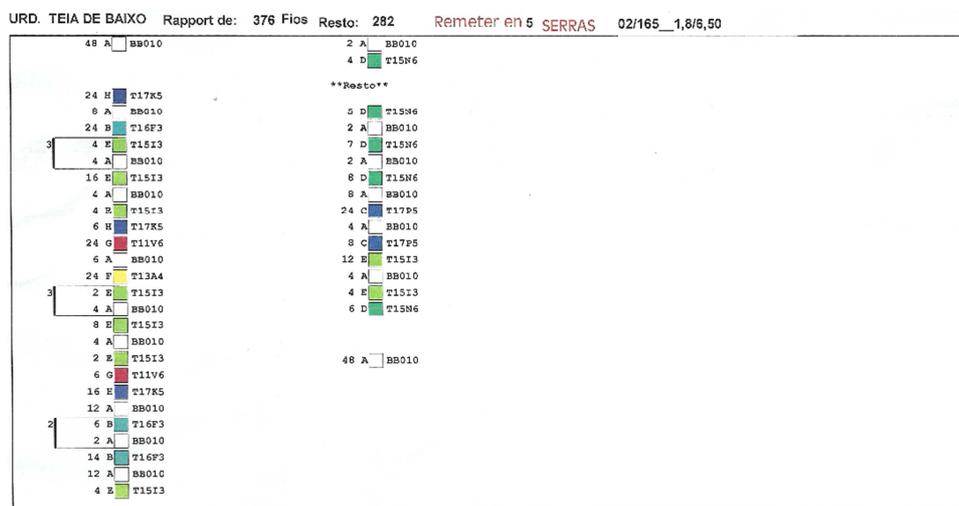


Figura 14 - Ficha Técnica

Para facilitar a leitura foi criado uma nova apresentação dos dados para o operador a carregar.

Uma das formas que arranjamos para melhorar a apresentação tradicional para uma nova apresentação, mais intuitiva, para que de certa forma reduza os tempos de carga e também cooperar na prevenção de erros, foi transpor para uma folha A3 o desenho final da carga, colocando o documento num quadro junto da zona de carga das

esquinadeiras, para que de uma forma fácil o operador consiga visualizar o posicionamento das bobines. A figura seguinte mostra um exemplo da nova apresentação.

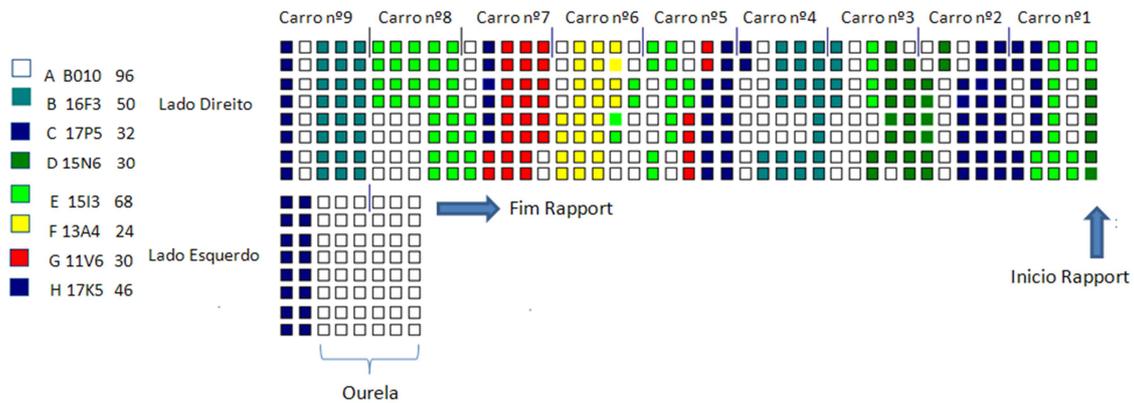


Figura 15 - Nova apresentação da disposição das cores na Ficha Técnica

Para poder-mos avaliar esta nova apresentação, fizemos um exercício para um determinado artigo, de forma a controlar os tempos para a situação tradicional e para a nova apresentação das cores.

Como nos mostra a tabela seguinte podemos concluir que:

- Para uma carga de 376 bobines temos um ganho de cerca de 10%;
- Para uma carga de 550 bobines, com a nova apresentação temos um ganho em cerca de 16% do tempo gasto com a forma tradicional.

Tempos de Carregar Esquinadeira (min)		
Nº bobines	Leitura Tradicional	Leitura Visual
376	81	74
550	147	126

Tabela 1 - Leitura Tradicional Vs Leitura Visual

Para concluir, podemos dizer que esta é apenas uma das muitas aplicações que podemos desenvolver no futuro na área da gestão visual. Podemos referir que os operadores tiveram um papel importante na elaboração desta nova apresentação das cores. Contudo expresse aqui a importância de continuar junto dos operadores na pesquisa e análise de novas oportunidades de melhoria.

### 3.3 Abastecimento

Num sistema de produção industrial é importante encontrar o ponto de equilíbrio entre trabalhar sem stock, mantendo o funcionamento adequado nas linhas de produção, ou seja, sem interrupções por falta de peças (matérias-primas) e assegurar a satisfação do mercado que a empresa possui, na medida em que produza apenas o que é solicitado acompanhando a flutuação da procura. A filosofia JIT pretende eliminar desperdício no sistema de produção (Louis, 1997); (Narasimham, Mcleavey, & Billington, 1995) (Shingo, 1996) (Tubino, 1997).

As empresas procuram obter informações relativamente à necessidade de material de cada linha de produção. Essas informações são bastante úteis na medida em que permite dimensionar a quantidade de material necessária para a produção num determinado período de tempo, (Moura & Botter, 2002).

Actualmente a empresa utiliza o sistema de abastecimento convencional, em que as máquinas são abastecidas pelos próprios operários, ou seja, o operário que faz a carga e descarga também é responsável pelo abastecimento. Foi constatado durante a investigação que esse operário não consegue colocar a carga seguinte disponível em tempo útil para que o operário responsável pela urdissagem não pare de Urdir. A procura do fio é uma das operações executadas pelo ajudante, esta operação demora 4 minutos em média por cada cor/partida. Um artigo que seja composto por 8 cores/partidas poderá demorar  $8 \times 4 = 32$  minutos, em três cargas o OP Ajudante poderá demorar 96 minutos, ou seja, em 7,5h de trabalho cerca de 21% é gasto na procura do fio. A nossa proposta é a aplicação um sistema de abastecimento a funcionar nas 4 máquinas durante 24h sem ter que utilizar o operário da máquina para abastecer.

Um dos objectivos deste sistema é maximizar a rota de forma a minimizar os custos de transporte. Para que este sistema funcione de uma forma eficiente é necessário uma programação muito aproximado do real para evitar que hajam interrupções na produção, (Montevecchi, Galhardo, & Silva, 2004).

Segundo Motta et al (2009) o grande contributo do *MilkRun* é :

- ✓ Reduzir custos de frete;
- ✓ Reduzir tempo de carregamento e descarregamento;
- ✓ Aumentar o comprometimento dos fornecedores;
- ✓ Reduzir o número de veículos envolvidos;
- ✓ Padronizar as colectas e embalagens;
- ✓ Criar melhores rotas de transportes.

O desafio desta implementação é:

- ✓ Eliminação do stock de matéria prima junto das máquinas;
- ✓ Aumentar o desempenho do ajudante;
- ✓ Reduzir as movimentações excessivas do operador ajudante;
- ✓ Reduzir as esperas do operador titular;

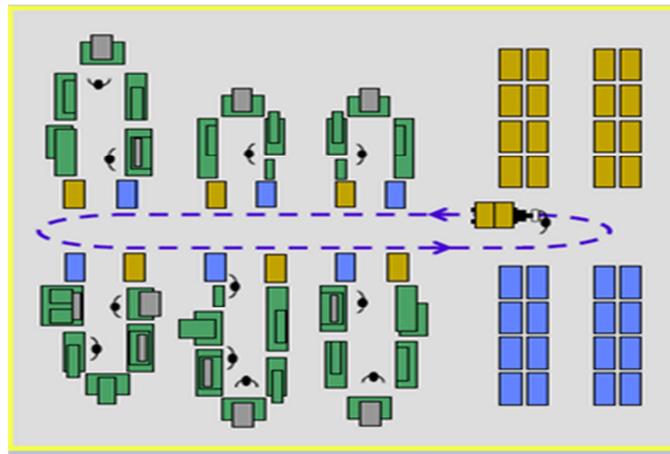


Figura 16- Exemplo de MilkRun

Fonte: Kaizen

O sistema de abastecimento que tem características para ter sucesso é o *MilkRun*. Para (Moura & Botter, 2002), este tipo de abastecimento “*visa , num tempo previamente determinado, colectar as peças nos fornecedores , cumprindo-se determinadas rotas, visando minimizar os custos de transporte da operação e reduzir o stock na cadeia de suprimentos*”.

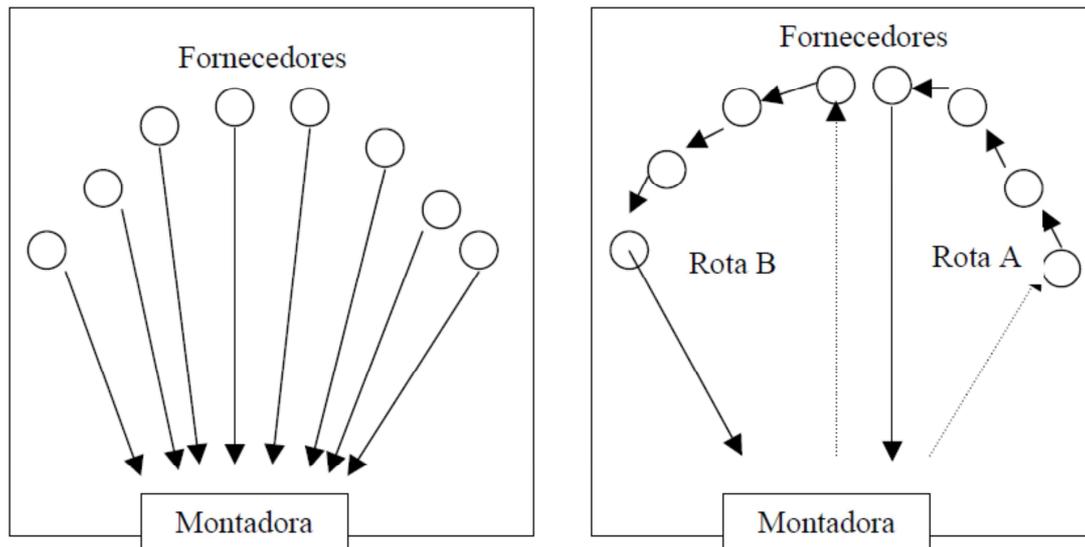


Figura 17- Abastecimento Tradicional Vs MilkRun

Fonte: (Moura & Botter, 2002)

Uma das características do *MilkRun* é o estabelecimento de rotas periodicamente, actualmente para o nosso caso não é possível a aplicação a 100% deste tipo de abastecimento, isto porque, a paragem das máquinas variam entre si dependendo do número de metros a produzir em cada artigo, não permitindo assim a implementação do *MilkRun*. No futuro poderá ser analisada esta situação, sendo necessária a implementação da filosofia *Lean* para nos permitir a introdução do *Pull System*. Neste momento vamos utilizar o conceito do *MilkRun* para criar um abastecedor que nos abasteça as máquinas com o mesmo propósito, apresentar os componentes (matéria prima) no momento certo na máquina certa.

### 3.3.1 Aplicação do Abastecedor

Com a aplicação desta técnica, libertamos o operador ajudante para executar apenas as operações de carga e descarga de bobines. Criamos um posto de trabalho para cada turno, ou seja, um operador em cada turno de 8 horas responsável pela recolha e abastecimento da matéria prima, no momento certo na máquina certa.

Com esta alteração permitimos que o ajudante se concentre apenas nas operações de carregar, emendar e descarregar.

As operações que estão associadas ao OP Ajudante são:

Sem Abastecedor	Com Abastecedor
○ Procurar Fio	○ <del>Procurar Fio</del>
○ Carregar Esquinadeira	○ Carregar Esquinadeira
○ Emendar	○ Emendar
○ Picar Pente	○ <del>Picar Pente</del>
○ Descarregar	○ Descarregar

Com o novo conceito de abastecer as máquinas este operador é responsável por:

- Abastecer a máquina
- Fazer retorno ao armazém das quantidades não consumidas das matérias primas;
- Picar pente;
- Urdir durante as paragens das meias horas dos operários titulares.

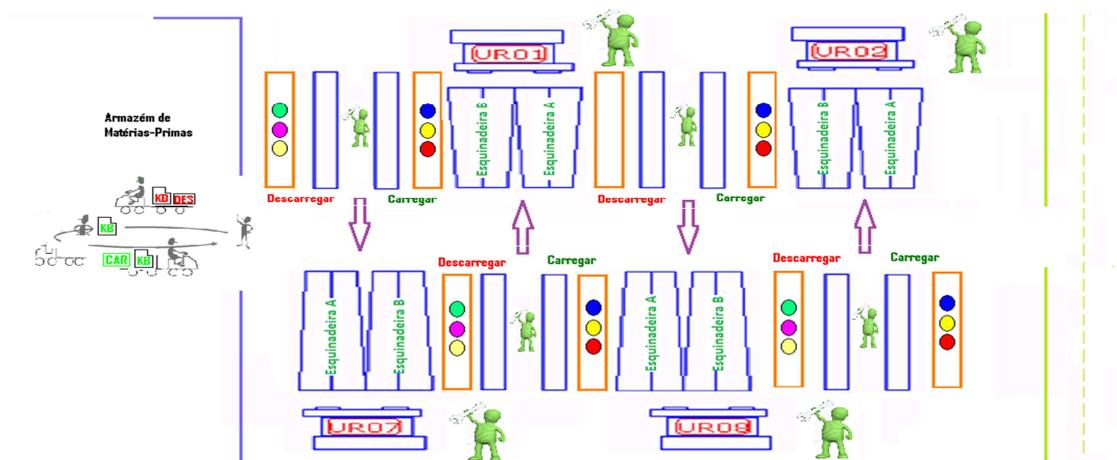


Figura 18 – Layout com o Abastecedor

As responsabilidades do OP Titular + Abastecedor são:

- Encarrear/Conferir desenho
- Picar Pente

As responsabilidades do OP Titular

- Urdir
- Colocar Órgão
- Passar

Para validar esta alteração no abastecimento apresentamos no capítulo 5 pág. 78 a simulação dos 2 cenários



## **4. Simulação de Heurísticas na Urdissagem**

A aplicação das heurísticas na programação da produção, pode ser um passo certo para a melhoria da nossa produtividade. Todos os dias para programar a produção utilizamos critérios de programação que só depois de serem executadas é que temos os resultados.

A simulação destas decisões permitem através de modelos com interfaces gráficos ver os resultados muito antes de se produzir. Este tipo de ferramenta facilita a tomada de decisão, podemos simular qualquer heurística e escolher aquela que nos permite uma maior produtividade.

Vamos apresentar uma análise dos dados referente a todas as operações nesta área de forma a que consigamos obter uma distribuição o mais aproximada da realidade. A construção do modelo é o passo seguinte deste capítulo. Não é menos importante que o ponto anterior pois, este permite sequenciar os processos com todas as variáveis que o incorporam para que juntamente com as expressões possam dar valores muito aproximados.

Finalmente, neste capítulo apresentamos os dados da produtividade da empresa alcançados num determinado período de 2010 e os resultados das heurísticas simuladas.

### **4.1 Pesquisa de dados**

A focalização desta investigação centra-se na programação da produção, no sentido de determinar regras heurísticas que nos permita reduzir os tempos de mudança e melhorar a taxa de ocupação conseguindo uma maior produtividade.

Para podermos desenvolver modelos de simulação com dados o mais real possível e identificar quais as operações que podem estar associados a operação urdir, desenvolvemos uma aplicação em MS Access que permitisse os operadores indicarem os tempos de inicio e fim de cada operação.

A plataforma foi desenvolvida pelo responsável de produção e o responsável pela investigação acção. Esta aplicação permite que os operadores cada vez que iniciavam uma nova tarefa registavam os tempos de inicio e fim na plataforma. O registo dos dados foi efectuado durante o mês de Outubro com 20 dias durante as 24 horas por dia. No fim deste período de tempo foi efectuado a exportação dos dados do MS Access.

Os dados são tratados operação a operação na funcionalidade do Arena chamada Input Analyser.

## Procurar fio

Esta operação é realizada quando o operador ajudante se prepara para dar início a uma nova carga. Procurar fio consiste em procurar fio numa zona onde o fio se encontra armazenado para abastecer as máquinas. Este operação é anulada com a implementação do abastecedor. A unidade de tempo apresentada é minutos.

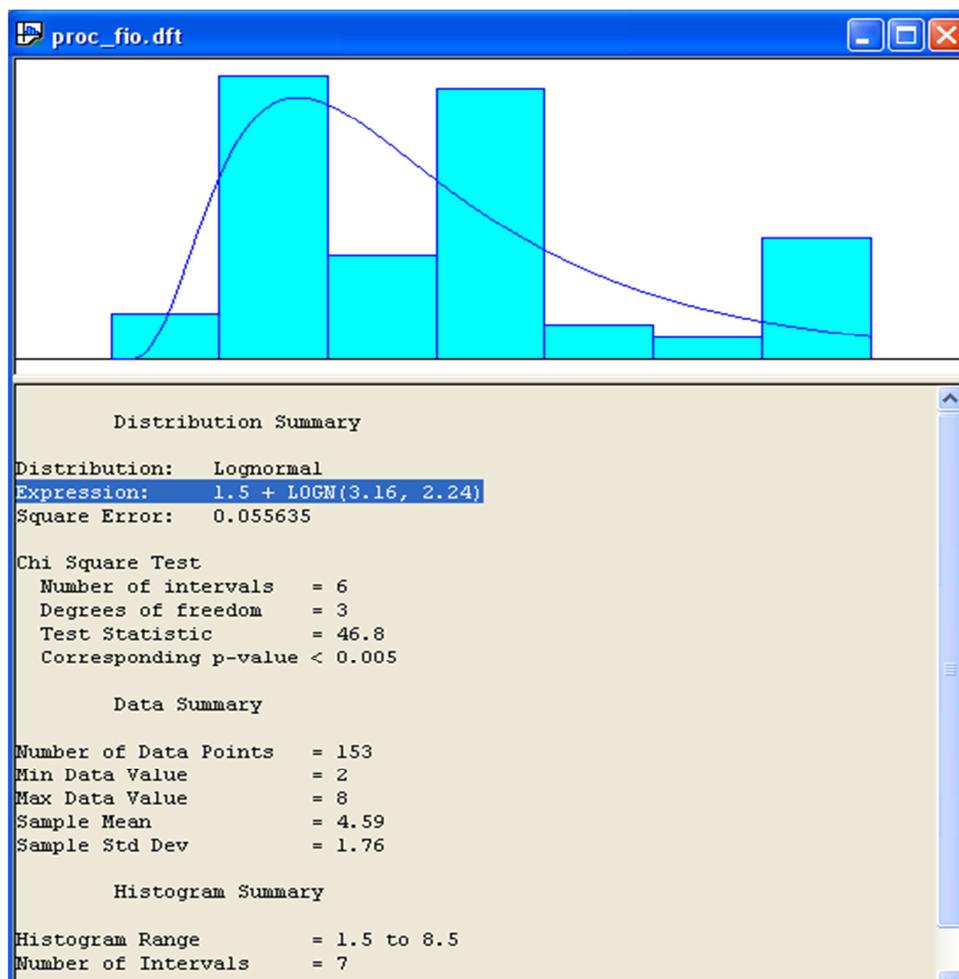


Figura 19 - Dados da operação procurar fio

Para esta operação a distribuição calculada é a Lognormal definida pela seguinte expressão:  $1.5 + \text{LOGN}(3.16, 2.24)$  com uma margem de erro de 5,5%.

## Carregar esquinadeira

A operação carregar a esquinadeira consiste em colocar bobines de fio numa plataforma da máquina chamada esquinadeira, pela ordem definida na ficha técnica do artigo. A unidade de tempo dos dados apresentados é em segundos por cada bobine.

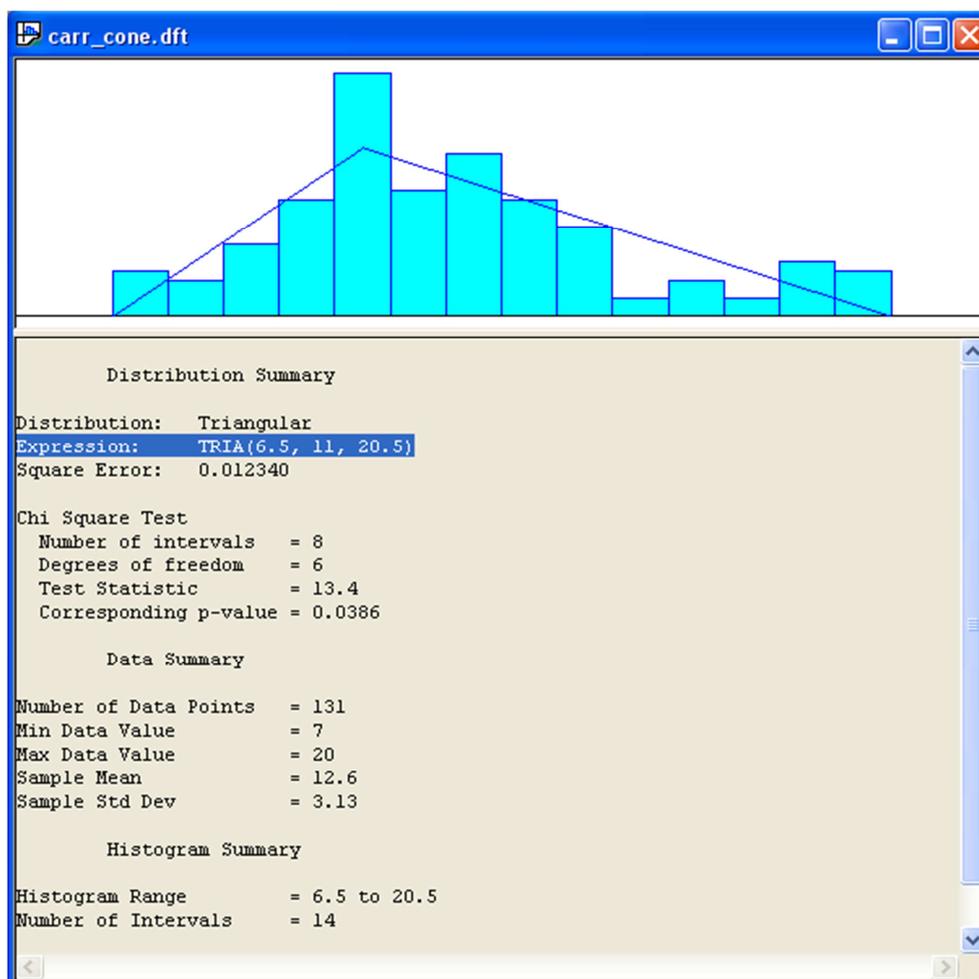


Figura 20 - Dados da operação carregar esquinadeiras

Após o tratamento de dados no *imput analyser* podemos verificar em cima que a melhor distribuição é a Triangular definida através da expressão: `TRIA(6.5,11,20.5)`, com uma margem de erro de 1.2%.

## Emendar cones

A operação de emendar cones subsiste na realização de um nó entre a bobine que foi carregada e o fio que se encontra na esquinadeira da ultima teia a ser urdida. A unidade de tempo dos dados apresentados é em segundos por cada nó.

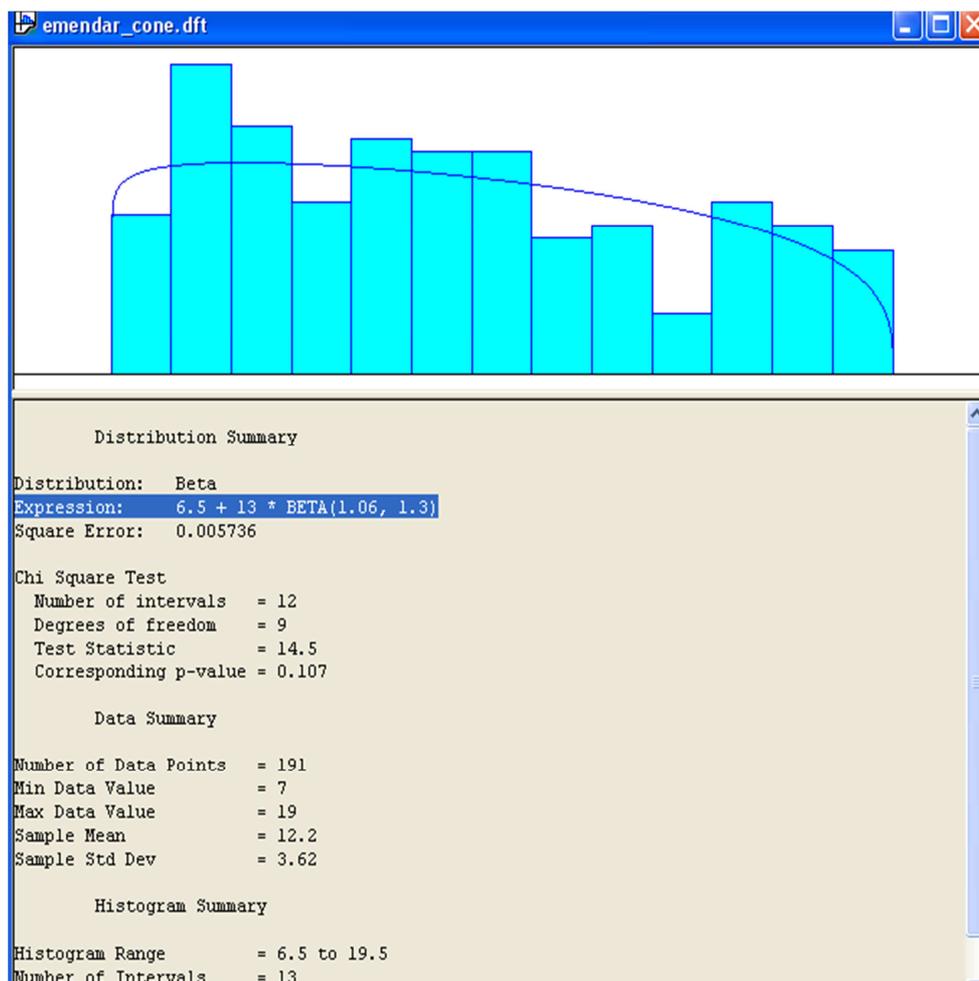


Figura 21 - Dados da operação emendar fio na esquinadeira

Podemos concluir que a melhor distribuição para os tempos de emendar cones na esquinadeira, é a BETA com a expressão  $6,5 + 13 * BETA(1.06, 1.3)$ , apresentando uma margem de erro 0,57%.

## Picar pente

Picar o pente é uma operação que tem de ser executada por dois operadores, e consiste no enfiamento dos fios emendados na esquinadeira, num pente junto da Urdideira, que foram emendados, num pente por uma ordem definida pela ficha técnica. A unidade de tempo é em segundos por cada fio a enfiar.

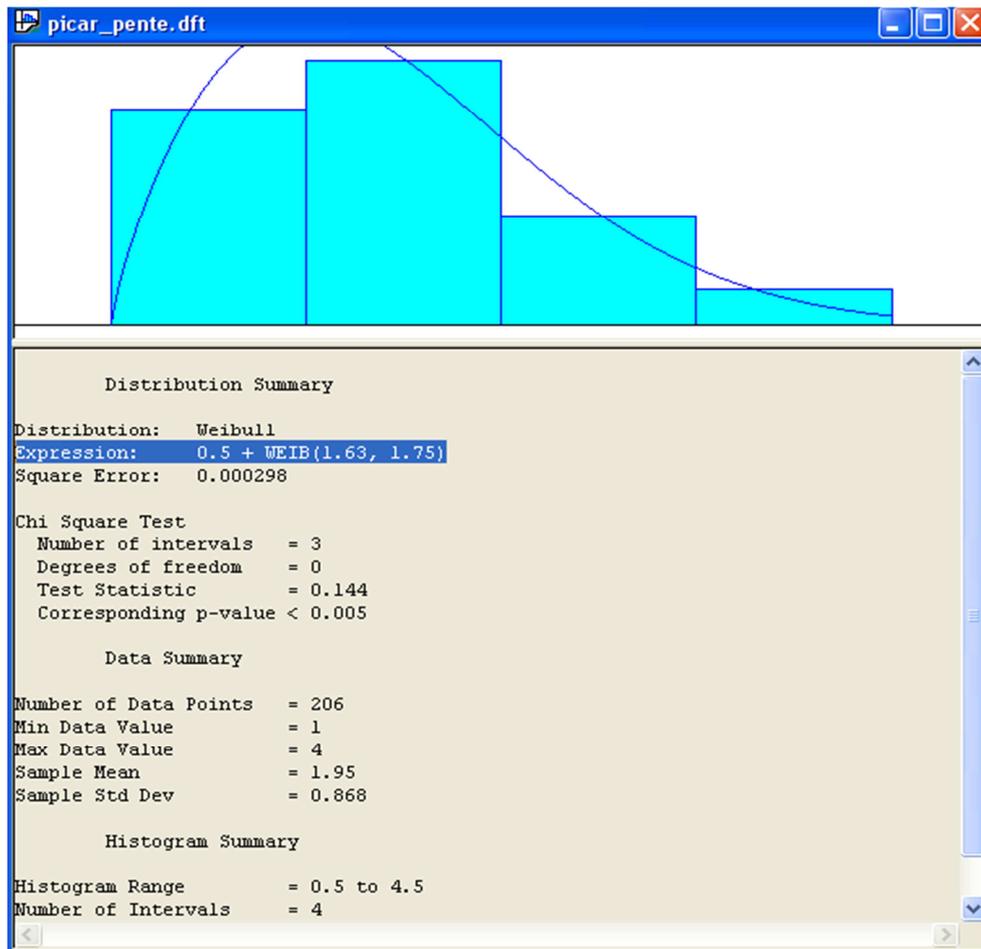


Figura 22 - Dados da operação picar pente

A distribuição que foi indicada pelo input analyser é a WEIBULL e a expressão que melhor se adequa a esta operação é  $0.5 + WEIB(1.63, 1.75)$  com uma margem de erro extremamente baixa 0,029%.

## Colocar cordas fita a fita

Durante a urdissagem da teia, a colocação de sete cordas é uma operação que se repete em cada fita. A inserção das cordas é feita no fim de cada fita. Estas cordas são vitais para o processo seguinte pois permitem separar todos os fios para que não apareçam no tecido colados. Esta operação é definida em minutos por cada 7 cordas em cada fita.

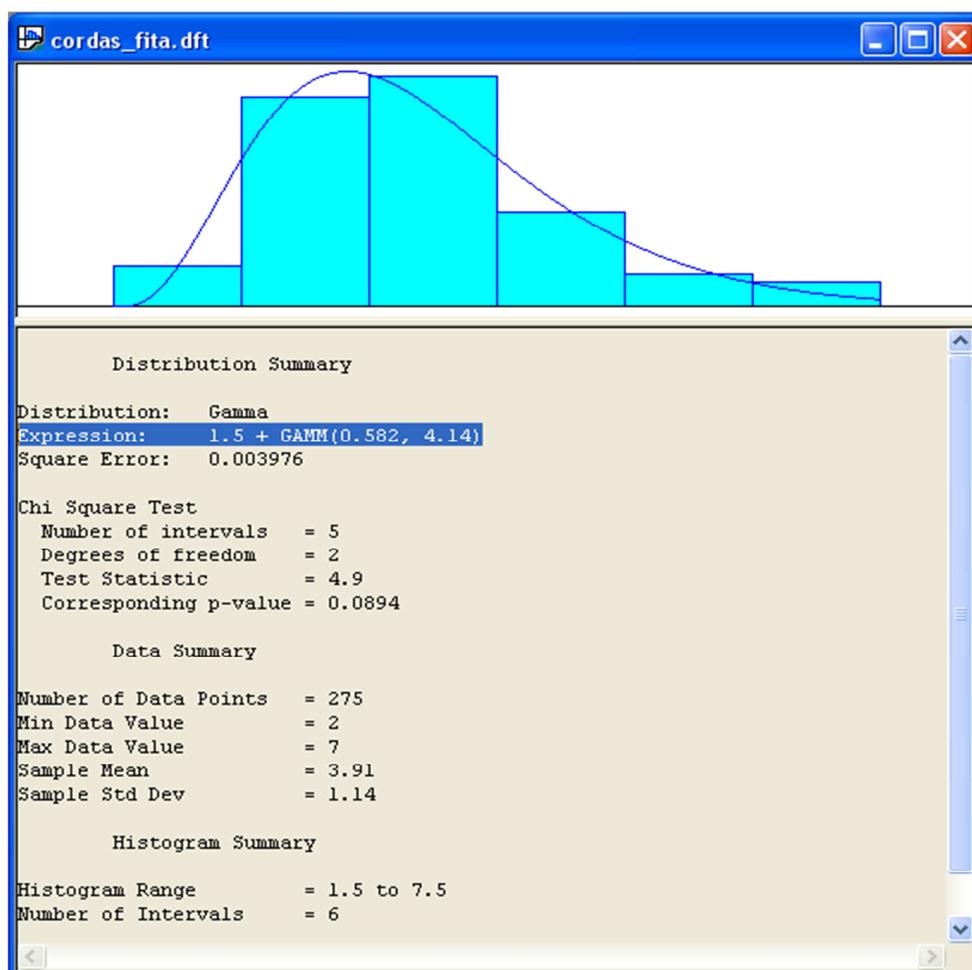


Figura 23 - Dados sobre a colocação de cordas fita a fita

A colocação das cordas tem uma distribuição GAMMA revelando a expressão  $1.5 + \text{GAMM}(0.582, 4.14)$  com uma margem de erro aproximadamente 0,4%.

## Colocar orgão

A colocação do orgão é feita após a urdissagem, trata-se de colocar o orgão na máquina de forma a passar a teia urdida para o orgão. A unidade de tempo desta operação é em minutos.

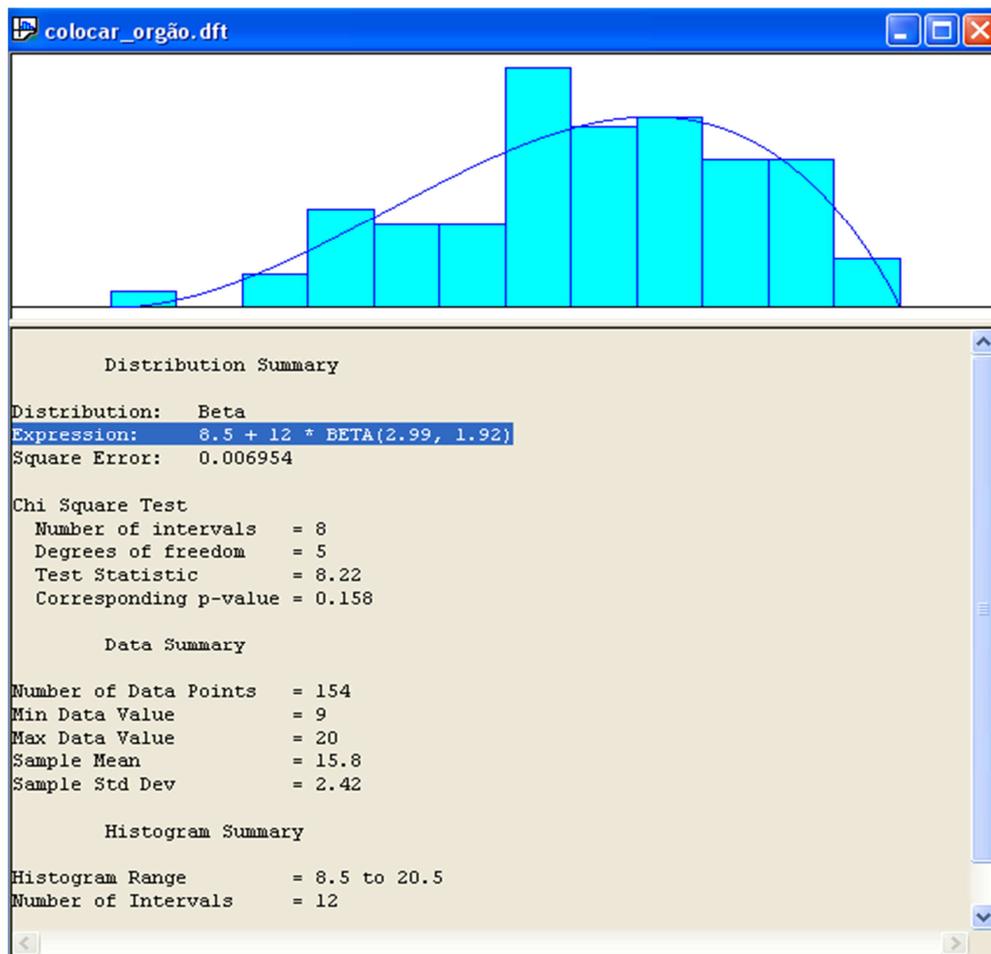


Figura 24 - Dados sobre a colocação do orgão para passar a teia

A distribuição que melhor se adequa a esta operação é a BETA com a seguinte expressão:  $8.5 + 12 * BETA(2.99, 1.92)$ , apresentando uma margem de erro muito próxima dos 0,7%.

## Descarregar cones

Descarregar cones é a tarefa que se segue após a teia ser urdida. Para dar início a mais uma carga é necessário fazer a descarga dos cones que foram utilizados. A unidade de tempo é em segundos por cada bobine descarregada.

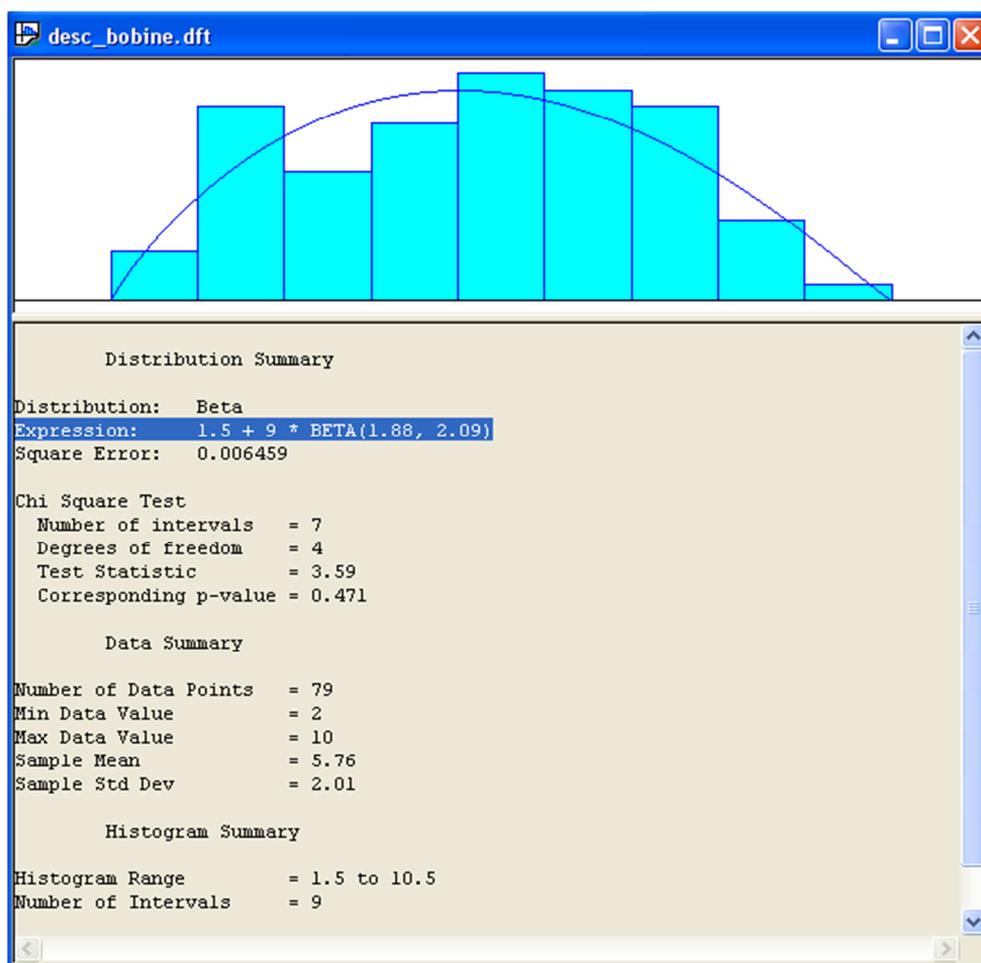


Figura 25 - Dados da operação descarregar cones

Para descarregar as bobines a distribuição determinada foi a BETA com a expressão  $1,5 + 9 * \text{BETA}(1.88,2.09)$ , permitindo assim ter uma margem de erro em cerca de 0,64%.

## 4.2 Ferramenta de Simulação

A ferramenta seleccionada para a geração dos modelos é o Arena. Os modelos são fundamentados na linguagem de simulação SIMAN. O Arena baseia-se na simplificação de um processo através de eventos discretos, onde se constrói modelos a partir de blocos interligados entre si definindo a lógica do processo. Para se construir estes modelos em Arena não é necessário escrever linhas de código, pois todo o processo é gráfico.

Estes blocos representam o fluxo dos processos e dos dados dos referentes.

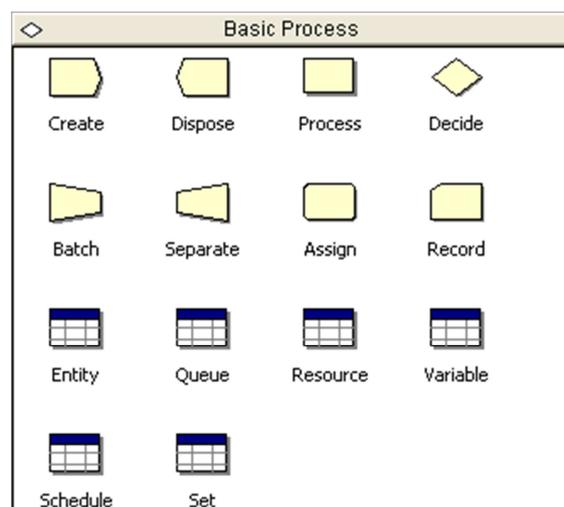


Figura 26 - Módulos de fluxo e de dados

Segundo Rebelo, os principais passos de uma modelagem utilizando o software são:

1. A criação do modelo faz-se arrastando os blocos para a área do projecto. Estes são conectados. Assim cada bloco conectado segue uma lógica, podendo envolver pessoas, máquinas, objectos e transportes que permite representar o processo real. O circuito de cada entidade pode depender de vários atributos ou variáveis definidas no sistema.
2. Durante a modelação esta ferramenta permite-nos através de ferramentas de acompanhamento de simulação a verificação de erros lógicos de forma a obter um modelo conciso. Após a finalização do modelo lógico é possível a criação de uma animação (ex. Layout do processo), que permita claramente visualizar todos os elementos do sistema.

3. Possibilidade de simular de forma a verificar se realmente se reflecte o sistema modelado, para finalmente aplicar a simulação dos diferentes cenários na expectativa de identificar melhorias.
4. Após a simulação, o Arena gera relatórios automáticos com dados específicos como a taxa de utilização dos recursos ou tempos de espera de forma a analisar os resultados da simulação de cada cenário.
5. Finalmente, baseado nos resultados é possível seleccionar a melhor solução para a melhoria do nosso problema.

Na secção seguinte descrevemos a construção do modelo base.

### **4.3 Construção do modelo em Arena**

A construção do modelo base para a investigação levou-nos a executar uma pesquisa activa de variáveis importantes para que a simulação seja o mais real possível. Após a obtenção dos dados, (página 53), relativos a cada operação necessária para a realização do processo urdir. Nesta secção apresentamos o modelo de simulação, identificando cada etapa do desenvolvimento do modelo.

A modelagem do sistema é feita através de blocos interligados entre si seguindo a lógica do fluxo de sistema produtivo e o seu layout.

Os dados para a simulação do processo são exportados do sistema informático (TIM) para uma folha de calculo (Excel). Essa folha contem todas as ordens de fabrico activas nos diversos estados. Para a nossa investigação vamos focalizar o estado f/urdir.

Começamos a modelação estabelecendo a ligação do mapa das ordens de fabrico activas com o Arena, de forma a possibilitar uma comunicação perfeita isenta de erros.

### 4.3.1 Transformação de códigos

Os códigos dos artigos da empresa são alfanuméricos, no Arena os códigos tem que ser obrigatoriamente numéricos. Para que fosse possível a comunicação foi necessário acrescentar a folha original duas colunas para nos facilitar a comparação entre os artigos:

1. Referência numérica total (Artigos Iguais);
2. Referência numérica (Mesma família).

Exemplo:

Ref. total do Artigo	Ref. Família
CV06755165203X	CV067

Para fazer esta ligação aplicamos uma função em VBA que nos permitisse transformar um código alfanumérico em numérico.

*Function* *cod\_numerico(string\_in As String)*

*s = UCase(string\_in)*

*res = 0*

*While Len(s) > 0*

*primeiro = Left(s, 1)*

*c = Asc(primeiro)*

*n = 0*

*If primeiro >= "0" And primeiro <= "9" Then n = c - Asc("0")*

*If primeiro >= "A" And primeiro <= "Z" Then n = c - Asc("A") + 10*

*res = res \* 36 + n*

*s = Right(s, Len(s) - 1)*

*Wend*

*cod\_numerico = res*

*End Function*

### 4.3.2 Modelação

A criação das ordens de fabrico no sistema é consumada quando as encomendas estão confirmadas. O responsável do planeamento submete as ordens de fabrico no sistema. As ordens de fabrico que entram no sistema estão registadas num ficheiro Excel. Para ser possível o Arena fazer a leitura dos dados, foi criado um algoritmo em VB que permitisse carregar a informação de cada artigo em cada entidade para a simulação.

O código seguinte informa o Arena o caminho onde se encontra o ficheiro para fazer a leitura dos dados.

```
Private Sub ModelLogic_RunBeginSimulation()  
Dim m As Model  
Set m = ThisDocument.Model  
Dim FileToOpen As String  
Dim ArenaDir As String  
Set XL = GetObject("", "Excel.Application")  
ArenaDir = Mid(m.FullName, 1, Len(m.FullName) - Len(m.Name))  
FileToOpen = ArenaDir & "testarena.xlsx"  
  
XL.Workbooks.Open FileToOpen  
End Sub
```

O início da modelação é desencadeado por um processo básico chamado *Create*. Este bloco permite estabelecer o número de unidades a simular e em que momento de tempo pretendemos o seu envio. O bloco *atributo\_variaveis* consiste em definir todas as variáveis que pertencem à modelação.

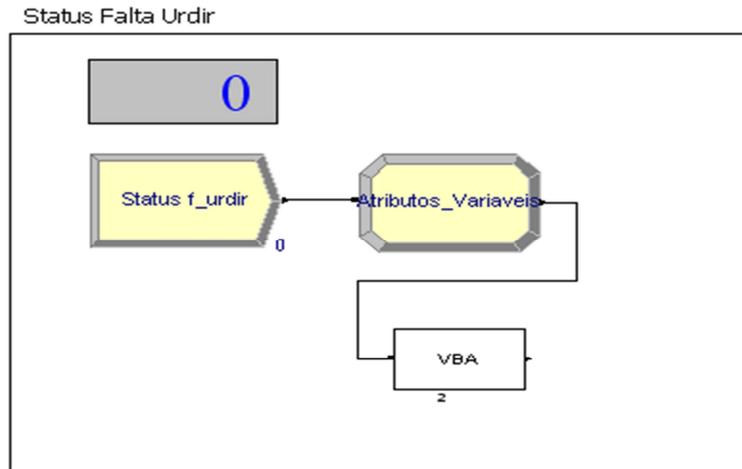


Figura 27 - Modelação do início do processo

Este processo envia para o sistema o número de unidades que desejamos simular num determinado instante de tempo, através do bloco *VBA* contendo o seguinte algoritmo:

```

Private Sub VBA_Block_2_Fire()
    Dim s As SIMAN
    Set s = ThisDocument.Model.SIMAN
    Dim linha_leitura As Variant
    linha_leitura = s.EntityAttribute(s.ActiveEntity, s.SymbolNumber("linha"))
    s.EntityAttribute(s.ActiveEntity, s.SymbolNumber("metros")) =
    XL.Workbooks(1).Worksheets(1).CELLS(linha_leitura + 1, 11).value
    s.EntityAttribute(s.ActiveEntity, s.SymbolNumber("n_fitras")) =
    XL.Workbooks(1).Worksheets(1).CELLS(linha_leitura + 1, 31).value
    s.EntityAttribute(s.ActiveEntity, s.SymbolNumber("num_bobines")) =
    XL.Workbooks(1).Worksheets(1).CELLS(linha_leitura + 1, 35).value
    s.EntityAttribute(s.ActiveEntity, s.SymbolNumber("esquinadeira_nr")) =
    XL.Workbooks(1).Worksheets(1).CELLS(linha_leitura + 1, 41).value
    
```

```
s.EntityAttribute(s.ActiveEntity, s.SymbolNumber("refa_numerica")) =  
XL.Workbooks(1).Worksheets(1).CELLS(linha_leitura + 1, 7).value  
s.EntityAttribute(s.ActiveEntity, s.SymbolNumber("refa_numerica_total")) =  
XL.Workbooks(1).Worksheets(1).CELLS(linha_leitura + 1, 8).value
```

Após a leitura dos dados , a definição da sequência da produção nas máquinas é definida por três testes:

1. Verifica se o artigo é igual

Para ser possível simular uma das heurísticas é importante saber se o artigo é igual, isto porque quando existem duas ou mais OF para o mesmo artigo é necessário sequenciar as OF na mesma máquina.

No modelo, a fórmula que permite verificar em todas as esquinadeiras se a última OF que foi programada é igual é a seguinte:

`refa_numerica_total == refa_last_in (esq,coluna)`

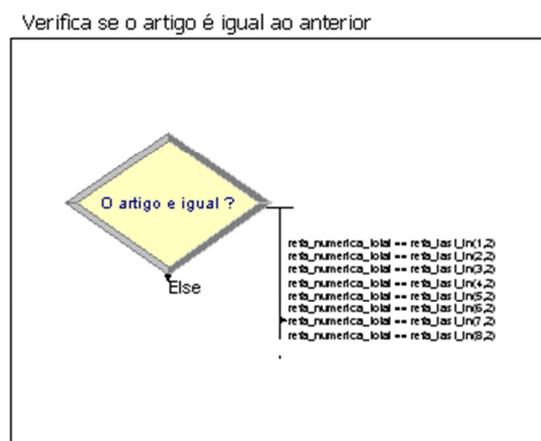


Figura 28 -Teste à igualdade dos artigos

Através deste teste vai ser possível sequenciar todos os artigos iguais na mesma máquina.

2. Verifica se o artigo é da mesma família

Quando os artigos são da mesma família existem cores que são comuns. A vantagem que podemos ter em verificar se o artigo é ou não da mesma família é evitar descarregar o fio de uma esquinadeira e carregar na outra minutos mais tarde ou ao mesmo tempo, eliminando assim a possibilidade de o mesmo fio ser programado em várias máquinas.

No modelo a fórmula de teste é a seguinte:

$$\text{refa\_numerica} == \text{refa\_last\_in}(\text{esq,coluna})$$

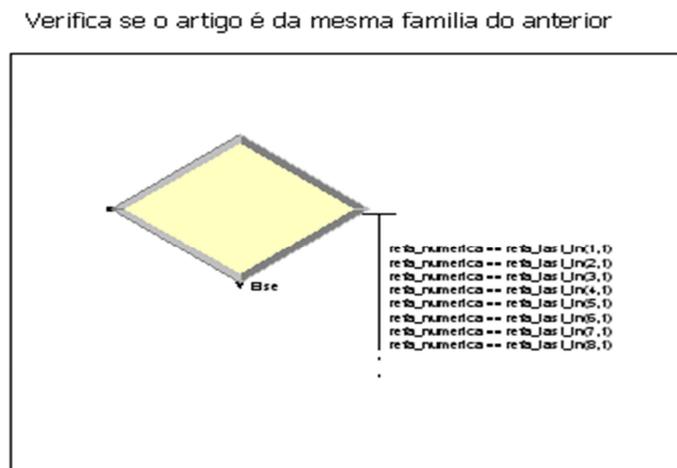


Figura 29 - Verificação dos artigos da mesma família

3. Verifica a máquina que está menos ocupada

Esta situação só se verifica se o artigo não é igual e não é da mesma família que os anteriores. Quando isto acontece o artigo vai ser programado na esquinadeira que tiver menos carga. A fórmula para verificar esta situação é dada por:

$$\text{NQ}(\text{ESQBS1.Queue}) \leq \text{tam\_min\_filas}$$

em que

$$\text{tam\_min\_filas} == \text{MN}(\text{NQ}(\text{ESQAS1.Queue}), \text{NQ}(\text{ESQBS1.Queue}), \text{NQ}(\text{ESQAS2.Queue}), \text{NQ}(\text{ESQBS2.Queue}), \text{NQ}(\text{ESQAS7.Queue}), \text{NQ}(\text{ESQBS7.Queue}), \text{NQ}(\text{ESQAS8.Queue}), \text{NQ}(\text{ESQBS8.Queue}))$$

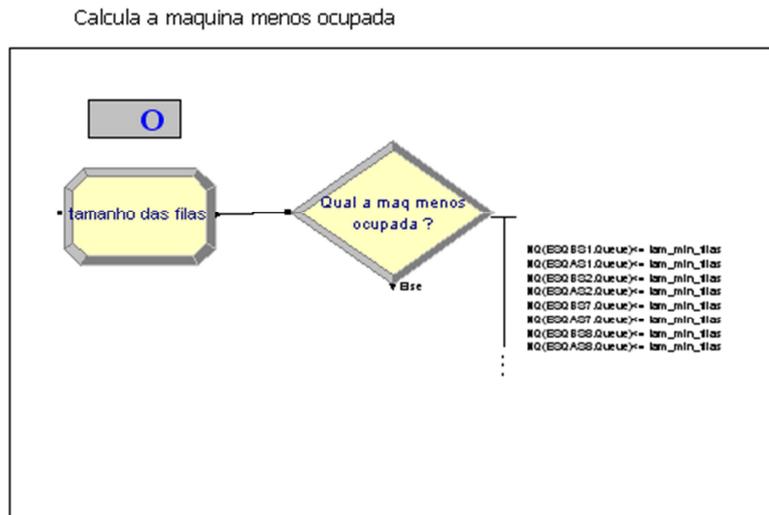


Figura 30 - Cálculo da máquina menos ocupada

Depois de seleccionada a máquina, conseguimos finalmente ter a sequência dos artigos a produzir em cada esquinadeira. Esta sequência é conseguida inicialmente através dos testes anteriores e finalmente através deste conjunto de blocos interligados. Estes blocos permitem a fusão das OF, no caso dos artigos serem iguais, conseguindo assim transformar duas ou mais OF em apenas uma. Este tipo de situação é importante pois o sistema simula apenas uma operação de carga.

Sequenciamento S1

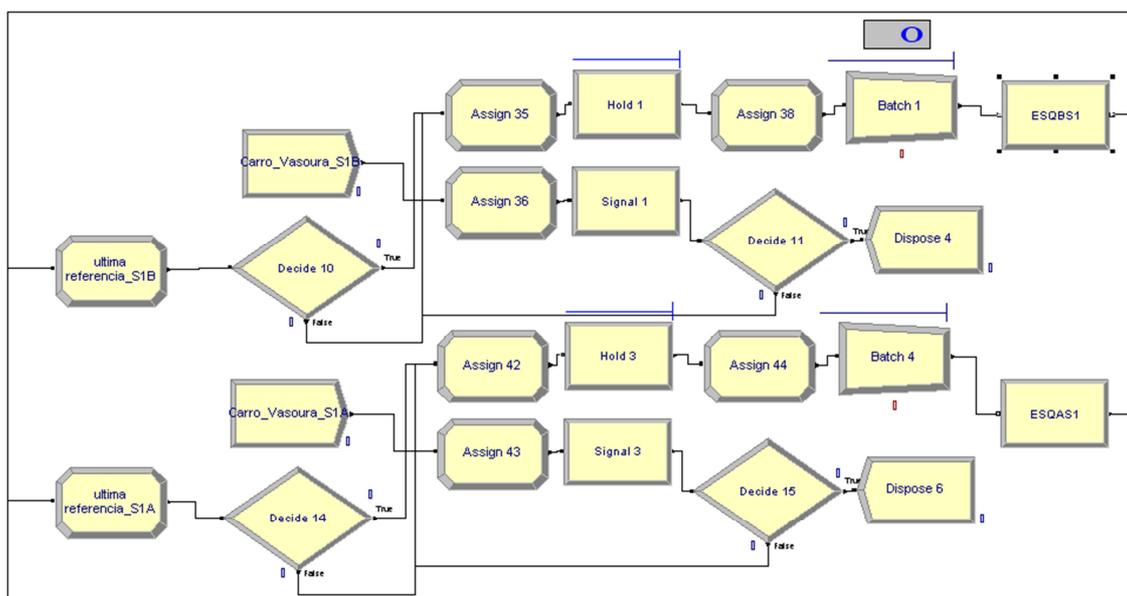


Figura 31 - Modelação do sequenciamento dos artigos

É nesta fase da simulação que os dados do último artigo a ser sequenciado é guardado numa variável de forma a possibilitar a comparação com os próximos artigos a ser programados.



Figura 32 - Arquivo dos artigos

Após a sequência dos artigos eles ficam em espera a aguardar a vez do processamento. O transporte para a máquina é feito através de um abastecedor, que o leva para a máquina definida logo após o início da urdissagem da última referência a ser transportada. Existe apenas um transportador para abastecer as 8 esquinadeiras, poderá em algum momento a operadora aguardar pela carga.

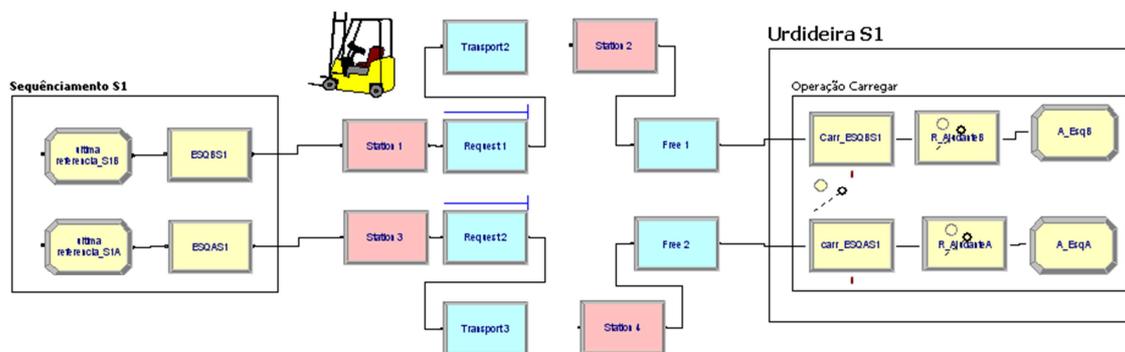


Figura 33 - Abastecedor

A comunicação da necessidade de abastecimento é realizada através de um conjunto de blocos que permitem fazer a requisição ou libertar o abastecedor.

O abastecedor só abastece uma máquina de cada vez, podendo no retorno da viagem transportar a matéria prima da última descarga realizada nessa máquina.

Depois de o abastecedor ter disponibilizado a carga, a operadora dá início a carga das bobines.

Os blocos que constituem esta operação são blocos simples onde apenas se define os recursos utilizados e os tempos desta operação.

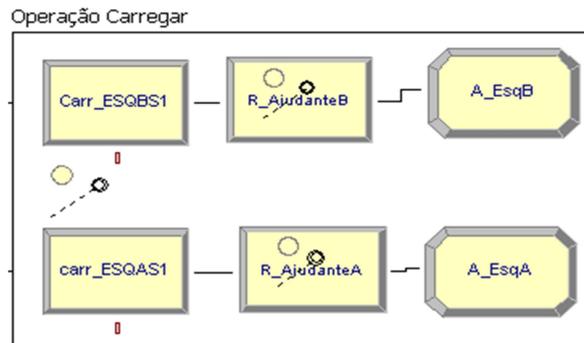


Figura 34 - Modelação da operação carregar

A operação de carregar bobines é simulada tendo em conta os tempos controlados. A fórmula extraída no input analyser contém os tempos de carga de bobines e emenda dos fios:

$$\text{Carregar/emendar} = (\text{num\_bobines} * \text{TRIA} (6.5,11,20.5) + \text{num\_bobines} * 6,5 + 13 * \text{BETA} (1.06, 1.3))/60$$

A modelação da urdissagem é realizada através de blocos básicos. O primeiro bloco (*Separate*) deste processo possibilita a separação das ordens de fabrico agrupadas no processo de sequenciação, para seja possível no processo **URS1** o processamento unitário de cada ordem de fabrico, possibilitando assim o registo dos tempos o mais real possível.

O tempo desta operação depende de cada ordem de fabrico e tipo de artigo. As variáveis dos tempos desta operação são:

- o Velocidade de Urdir
- o Metros do artigo
- o Número de fitas (secções)
- o Picar pente
- o Colocação das cordas
- o Velocidade de passar a teia
- o Tempo de colocação do orgão

Então podemos dizer que :

Tempo Urdir = (metros/velocidade urdir)\* numero fitas \* colocação cordas + picar pente

Quando os artigos são iguais a operação picar pente não é necessária, então a fórmula passa a ser a seguinte:

Tempo Urdir = (metros/velocidade urdir)\* numero fitas \* colocação cordas

Tempo de passar = (metros/ velocidade) + colocar orgão

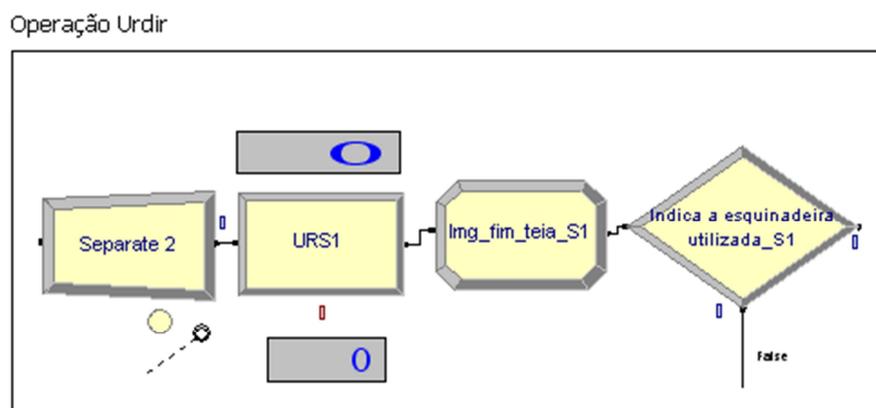


Figura 35 - Modelação da operação urdir

Finalmente podemos dizer que: Tempo total = tempo de urdir + tempo de passar

Para simulação no Arena a fórmula utilizada é a seguinte:

Tempo Urdir e Passar = (metros/500\*n\_fitras)+(1.5 + GAMM (0.582,4.14)\*n\_fitras\*7 ) + ((0.5 + WEIB (1.63,1.75) \* num\_bobines)/60)+(metros/100) \*(8.5 + 12 \* BETA (2.99,1.92)

No final deste processo é executado um teste apenas para registar na entidade em qual das esquinadeiras foi executada a urdissagem. Este teste é crucial para que haja uma perfeita comunicação entre as operações de carregar e descarregar de forma a registar a ocupação do recurso ajudante.

A modelação do processo descarregar é constituída por um bloco *Batch* que permite agrupar as ordens de fabrico que foram separadas durante o processo de urdir para que a descarga das bobines contabilizassem apenas os tempos de uma OF. tal como aconteceu com a carga. O processo de descarregar (Desc\_ESQBS1) é simples, apenas contempla o recurso ajudante. O bloco final é designado por *Release 1*, permite informar ao sistema a disponibilidade do recurso ajudante.

Para descarregar a esquinadeira a fórmula que utilizamos é definida por:

$$\text{Tempo de descarregar (min)} = \text{num\_bobines} * ( 1.5 + 9 * \text{BETA} (1.88,2.09)) / 60$$

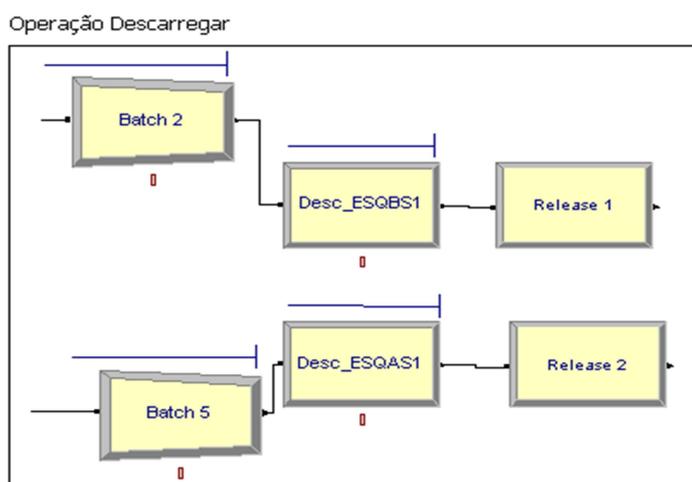


Figura 36 - Modelação da operação descarregar

A utilização de algumas funcionalidades de controlo que o Arena dispõe foram importantes no desenvolvimento e acompanhamento das simulações.

Contadores



Histogramas



Finalmente apresentamos a modelação do sistema de produção para as 4 máquinas.

Modelação gráfica do modelo da secção de Urdissagem

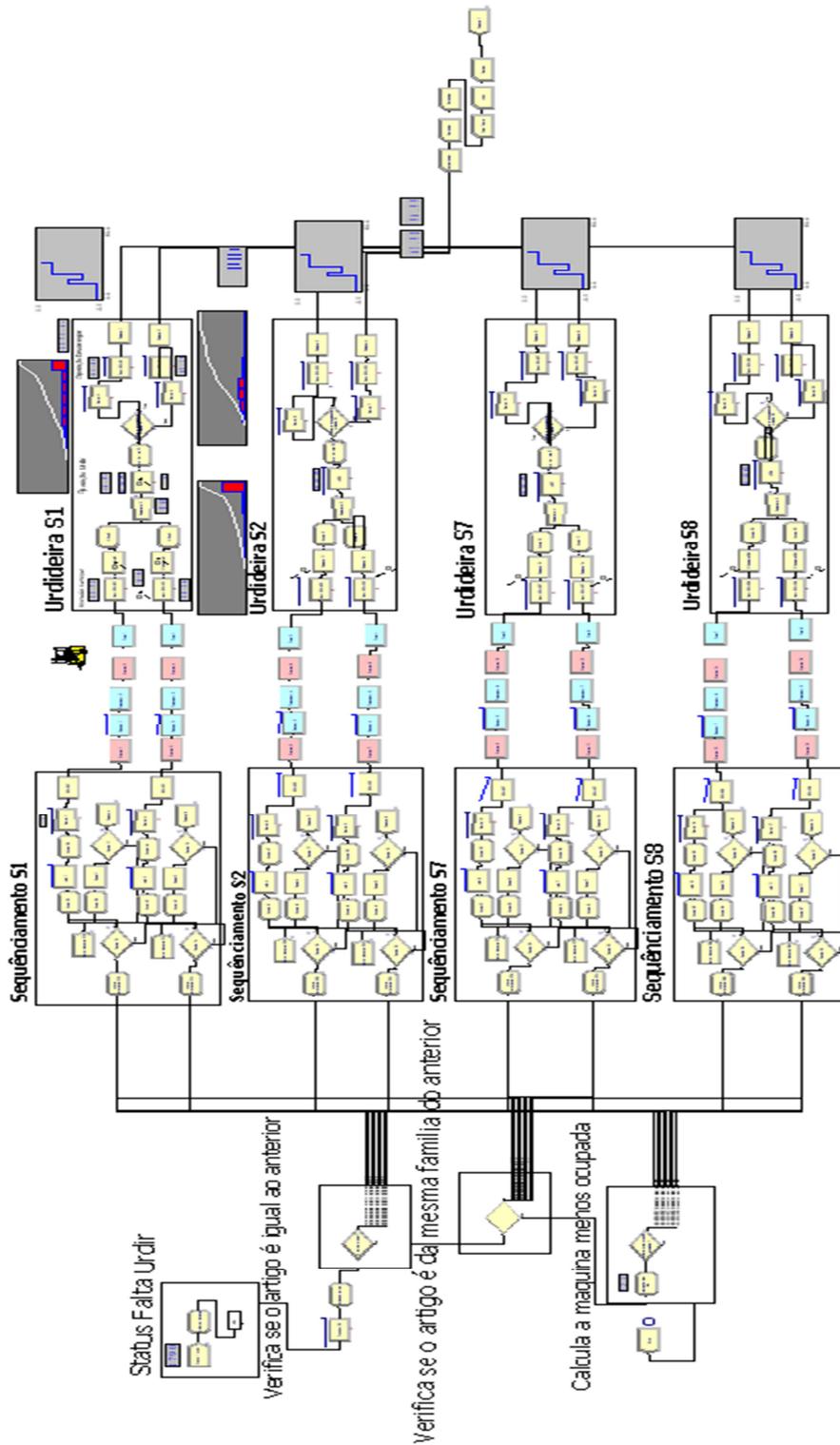


Figura 37 - Modelação do sistema produtivo

## Modelação gráfica no layout da secção de Urdir

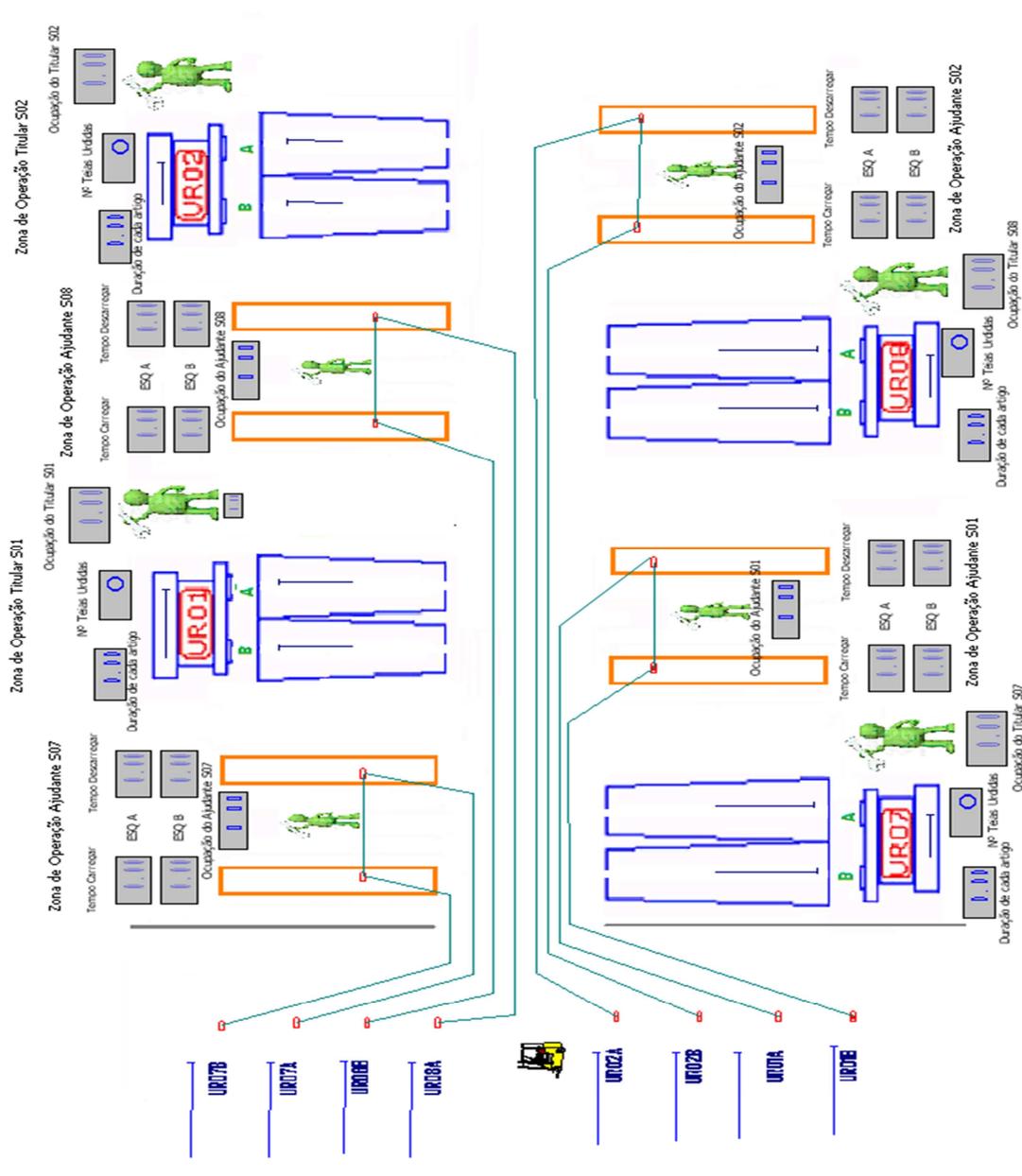


Figura 38 - Ambiente gráfico da modelação do sistema produtivo

#### 4.4 Análise da produção no último quadrimestre de 2010

A produtividade é um conceito que as empresas utilizam para medir a sua eficiência produtiva. Alguns autores referem que a produtividade pode ser entendida como o quociente do que a empresa produz e o que consome. Para Carvalho (2003) a produtividade pode ser definida analiticamente por :

$$\text{Produtividade} = \frac{\text{Output}}{\text{Recursos}}$$

Assim, podemos dizer que a produtividade é o indicador que utilizamos para analisar a eficiência da produtividade no último quadrimestre de 2010.

#### **Resultados reais do último quadrimestre de 2010:**

Nº de horas gastas = 1785horas \* 4 máquinas = 7380 horas

Nº de Teias Urdidas:

Contar de URD.	MÊS				Total Geral
	9	10	11	12	
MAQ					
S01	80	49	106	91	326
S02	115	116	135	114	480
S07	128	127	135	86	476
S08	98	123	153	131	505
Total Geral	421	415	529	422	1787

Tabela 2 - Nº teias urdidas no ultimo quadrimestre de 2010

Nº total de teias produzidas = 1787

$$\text{Produtividade (teia)} = \frac{\text{Numero de teias produzidas}}{\text{Nº de horas gastas}} = \frac{1787}{7380} = 0,24 \text{ teia/hora}$$

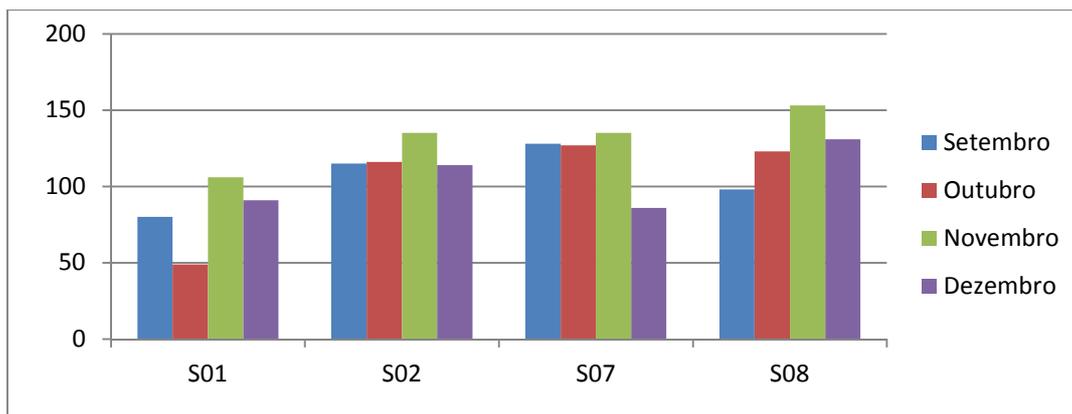


Figura 39 - Numero de teias urdidas no ultimo quadrimestre de 2010

Quantidade de metros urdidos:

Soma de URD	MÊS				Total Geral
	9	10	11	12	
MAQ					
S01	68490	26327	57922	72196	224935
S02	92509	84915	82883	50831	311138
S07	126488	94569	35818	24047	280922
S08	87249	94010	79034	34157	294450
Total Geral	374736	299821	255657	181231	1111445

Tabela 3 - Nº de metros urdidos no ultimo quadrimestre de 2010

Nº total de metros produzidos = 1111445

$$\text{Produtividade (metros)} = \frac{\text{Numero de metros produzidas}}{\text{Nº de horas gastas}} = \frac{1111445}{7380} = 150 \text{ metros/hora}$$

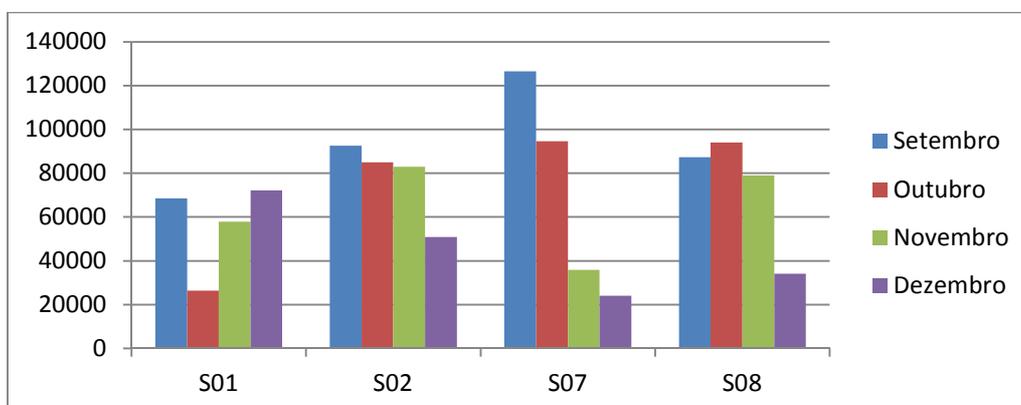


Figura 40 - Numero de metros urdidos no ultimo quadrimestre de 2010

Taxa de ocupação das máquinas:

Soma de URD.	MÊS				Total Geral
	9	10	11	12	
MAQ					
S01	13095	9662	13961	14242	50960
S02	15195	13948	16419	12751	58313
S07	16707	20134	15587	12025	64453
S08	12649	13534	16469	13631	56283
Total Geral	57646	57278	62436	52649	230009

Tabela 4 - Total de minutos utilizados na produção do último quadrimestre de 2010

Taxa de Ocupação Set-Out-Nov-Dez 2010					
MAQ	9	10	11	12	Total Geral
S01	44%	36%	49%	56%	46%
S02	51%	52%	58%	50%	53%
S07	56%	75%	55%	53%	60%
S08	43%	50%	58%	53%	51%
Total Geral	49%	53%	55%	51%	52%

Tabela 5 - Resumo da taxa de ocupação por máquina

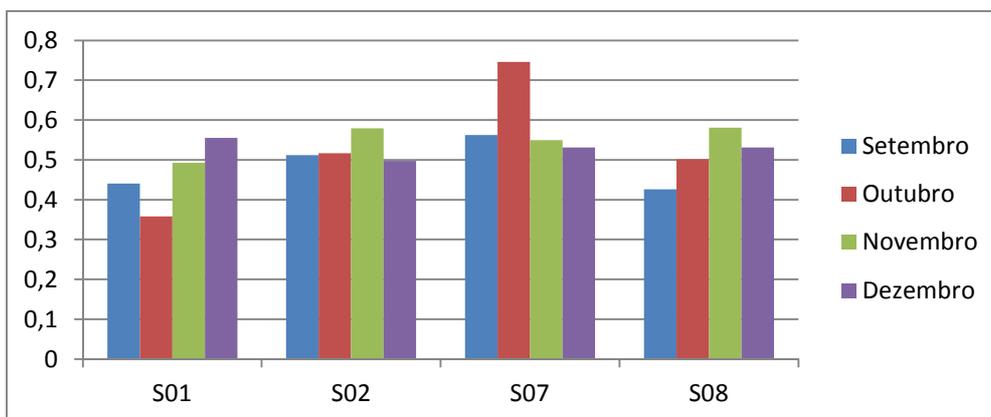


Figura 41 - Taxa de ocupação real no último quadrimestre de 2010

## 4.5 Simulação do Abastecimento

Para poder comparar o método de abastecimento tradicional com o método de abastecimento apresentado no capítulo 3 (pag.48), exibimos nos pontos seguintes a simulação dos dois cenários.

### 4.5.1 Simulação da produção com o abastecimento tradicional

O abastecimento tradicional é executado pelos próprios operadores da máquina, esta simulação incorpora todos os tempos das operações associados ao ajudante (Ver pag.50).

#### Utilizacao dos recursos

Start Time: 0,00 Stop Time: 99.145,88 Time Units: Minutes

#### Usage

	<u>Inst Util</u>	<u>Num Busy</u>	<u>Num Sched</u>	<u>Num Seized</u>	<u>Sched Util</u>
ajudante_S1	0,96	0,96	1,00	896,00	0,96
ajudante_S2	0,93	0,93	1,00	896,00	0,93
ajudante_S7	0,93	0,93	1,00	896,00	0,93
ajudante_S8	0,96	0,96	1,00	892,00	0,96
Artigo	0,00	0,00	1,00	1.790,00	0,00
Titular_S1	0,53	0,53	1,00	448,00	0,53
Titular_S2	0,52	0,52	1,00	448,00	0,52
Titular_S7	0,52	0,52	1,00	448,00	0,52
Titular_S8	0,52	0,52	1,00	446,00	0,52

Figura 42 - Ocupação do abastecimento tradicional

#### Tempos de operação por entidade

##### Process Detail Summary

##### Time per Entity

	<u>Total Time</u>	<u>VA Time</u>	<u>Wait Time</u>
carr_ESQAS1	182,62	170,94	11,68
Carr_ESQAS2	171,99	162,94	9,05
Carr_ESQAS7	172,78	166,68	6,09
Carr_ESQAS8	175,92	168,26	7,66
Carr_ESQBS1	176,34	165,20	11,14
Carr_ESQBS2	169,01	162,80	6,21
Carr_ESQBS7	170,09	161,41	8,67
Carr_ESQBS8	181,63	171,31	10,32
Desc_ESQAS1	133,57	46,04	87,53
Desc_ESQAS2	133,01	41,26	91,75
Desc_ESQAS7	133,13	42,51	90,62
Desc_ESQAS8	141,75	43,43	98,32
Desc_ESQBS1	137,55	42,49	95,05
Desc_ESQBS2	137,37	43,33	94,03
Desc_ESQBS7	135,31	43,06	92,25
Desc_ESQBS8	138,99	44,48	94,51

Figura 43 - Tempos médios de carga e descarga por artigo

### 4.5.2 Simulação da produção com o Abastecedor

Esta simulação incorpora os tempos das operações que lhes foram atribuídas na criação da nova forma de abastecimento. (ver pag. 50)

#### Utilizacao dos recursos

Start Time: 0,00 Stop Time: 87.757,11 Time Units: Minutes

#### Usage

	<u>Inst Util</u>	<u>Num Busy</u>	<u>Num Sched</u>	<u>Num Seized</u>	<u>Sched Util</u>
ajudante_S1	0,94	0,94	1,00	896,00	0,94
ajudante_S2	0,92	0,92	1,00	896,00	0,92
ajudante_S7	0,92	0,92	1,00	896,00	0,92
ajudante_S8	0,94	0,94	1,00	892,00	0,94
Artigo	0,00	0,00	1,00	1.790,00	0,00
Titular_S1	0,59	0,59	1,00	448,00	0,59
Titular_S2	0,59	0,59	1,00	448,00	0,59
Titular_S7	0,59	0,59	1,00	448,00	0,59
Titular_S8	0,58	0,58	1,00	446,00	0,58

Figura 44 - Ocupação do abastecedor

#### Tempos de operação por entidade

##### Process Detail Summary

##### Time per Entity

	<u>Total Time</u>	<u>VA Time</u>	<u>Wait Time</u>
carr_ESQAS1	150,76	143,68	7,08
Carr_ESQAS2	143,03	135,41	7,61
Carr_ESQAS7	151,84	141,34	10,50
Carr_ESQAS8	150,79	141,30	9,49
Carr_ESQBS1	147,17	140,38	6,79
Carr_ESQBS2	143,20	136,91	6,29
Carr_ESQBS7	145,77	135,94	9,83
Carr_ESQBS8	149,88	139,22	10,66
Desc_ESQAS1	114,67	43,80	70,88
Desc_ESQAS2	113,26	44,49	68,78
Desc_ESQAS7	107,00	42,87	64,13
Desc_ESQAS8	114,00	43,70	70,30
Desc_ESQBS1	115,69	40,97	74,72
Desc_ESQBS2	113,41	43,39	70,02
Desc_ESQBS7	110,28	40,09	70,19
Desc_ESQBS8	116,78	43,88	72,90

Figura 45 - Tempos médios de carga e descarga por artigo

#### Tempo médio do abastecimento

<u>Usage</u>	<u>Average</u>	<u>Half Width</u>	<u>Minimum</u>	<u>Maximum</u>
Utilization	0.1019	0,001337802	0	1.0000
Number Busy	0.1019	0,001337802	0	1.0000
Number Scheduled	1.0000	(Insufficient)	1.0000	1.0000

Figura 46 - Tempo médio do abastecedor

Apresentamos um quadro resumo para comparar os dois cenários simulados referentes a taxa de ocupação do ajudante e titular:

Taxa Ocupação	Abast. Tradicional		Abastecedor	
	Ajudante	Titular	Ajudante	Titular
Dur. Simulação	99146		87758	
S01	96%	53%	94%	59%
S02	93%	52%	92%	59%
S07	93%	52%	92%	59%
S08	96%	52%	94%	58%
Média	<b>94,5%</b>	<b>52,3%</b>	<b>93,0%</b>	<b>58,8%</b>

Tabela 6 - Resumo da simulação do abastecimento

Podemos concluir que a introdução do abastecedor permite:

- ✓ Aumentar a taxa de ocupação máquina média em ~6,5% (58,8-52,3) em relação ao abastecimento tradicional;
- ✓ Redução em ~11,388 minutos (99146-87758) cerca 11% do tempo total de produção.

Em relação aos tempos de carga e descarga, a simulação permite-nos retirar os seguintes dados:

T. por artigo (min)	Abast. Tradicional	Abastecedor
	Ajudante	Ajudante
S01	213	184
S02	211	186,5
S07	211,5	184
S08	212,5	186
Média	<b>212,0</b>	<b>185,1</b>

Figura 47 - Resumo dos tempos de carregar e descarregar por máquina

Podemos verificar que o tempo médio de operação na esquinadeira com a utilização do abastecedor diminuiu ~26 min por artigo.

Estes resultados são efeito da eliminação da tarefa de procurar fio possibilitando uma maior ocupação nas tarefas de carregar e descarregar que permitem ao operador colocar a carga disponível para urdir mais cedo.

Em relação ao abastecimento, a simulação diz-nos que o abastecedor tem uma ocupação de ~10%. Esta ocupação engloba apenas o tempo de abastecimento das matérias primas. Com este valor podemos concluir que o abastecedor tem ~90% do tempo para operar nas restantes tarefas que lhes foram atribuídas. Contudo, poderá em alguns momentos ser necessária a intervenção do abastecedor em várias máquinas ao mesmo tempo, ficando á sua responsabilidade a escolha de qual das máquinas que fica em espera. Este tipo de problema não foi possível simular devido a um número elevado de operações difíceis de controlar.

É de salientar que a criação do abastecedor originou um aumento de mão de obra em 3 colaboradores por dia, ou seja, mais 22,5 horas.

#### **4.6 Simulação e Análise das Heurísticas no modelo**

A classe das heurísticas que vamos utilizar são as regras de prioridade. Vamos simular aquelas que nos parecem mais interessantes para a resolução do nosso problema, tendo em conta a opinião de alguns autores. Os dados utilizados para a simulação das heurísticas são os dados da produção real do último quadrimestre de 2010. A simulação das heurísticas apresentadas, tem o novo sistema de abastecimento em funcionamento.

Nos pontos seguintes, analisamos os resultados da simulação de cada regra escolhida tendo como objectivo a análise de três indicadores importantes:

- Utilização dos recursos
- Tempo médio por entidade
- Produtividade

Os restantes dados extraídos da simulação encontram-se em anexo na pág.106

### 4.6.1 Simulação da produção no mesmo período de tempo

A simulação da produção no mesmo período de tempo permite-nos comparar os resultados do modelo construído com os dados obtidos.

Simulação da produção durante o mês de Setembro, Outubro, Novembro e Dezembro.

Tempo total = 110 700 minutos

Nº de horas gastas = 1845 horas \* 4 máquinas = 7380 horas

#### Utilizacao dos recursos

Start Time: 0,00 Stop Time: 110.700,00 Time Units: Minutes

##### Usage

	Inst Util	Num Busy	Num Sched	Num Seized	Sched Util
ajudante_S1	0,75	0,75	1,00	896,00	0,75
ajudante_S2	0,73	0,73	1,00	896,00	0,73
ajudante_S7	0,73	0,73	1,00	896,00	0,73
ajudante_S8	0,74	0,74	1,00	892,00	0,74
Artigo	0,00	0,00	1,00	1.790,00	0,00
Titular_S1	0,47	0,47	1,00	448,00	0,47
Titular_S2	0,47	0,47	1,00	448,00	0,47
Titular_S7	0,46	0,46	1,00	448,00	0,46
Titular_S8	0,46	0,46	1,00	446,00	0,46

Figura 48 – Resultados da simulação do último quadrimestre

$$\text{Taxa de ocupação média máquina} = \frac{0,47 + 0,47 + 0,46 + 0,46}{4} * 100 = 46,5\%$$

$$\text{Taxa de ocupação média op.ajudante} = \frac{0,75 + 0,73 + 0,73 + 0,74}{4} * 100 = 73,75\%$$

Scheduled Utilization

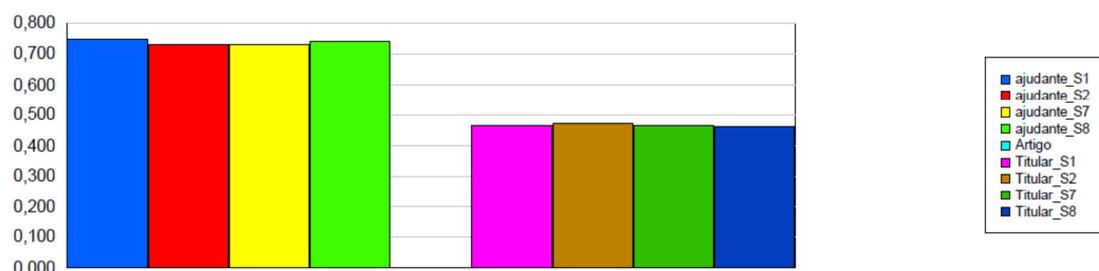


Figura 49 - Taxa ocupação da simulação do ultimo quadrimestre

## Produtividade

Nº de teias produzidas = 1790

$$\text{Produtividade (teia)} = \frac{\text{Numero de teias produzidas}}{\text{Nº de horas gastas}} = \frac{1790}{7380} = 0,24 \text{ teia/hora}$$

Nº de Metros produzidos = 11.114.445 metros ( $\sum$  Metros, ver figura 105)

$$\text{Produtividade (metros)} = \frac{\text{Numero de metros produzidas}}{\text{Nº de horas gastas}} = \frac{1111445}{7380} = 150 \text{ m/h}$$

### 4.6.2 PFA – Processamento por Famílias de Artigo

O processamento por familias de artigo é uma regra que tem como objectivo sequenciar artigos iguais. Esta forma de sequenciar a produção obriga a função comercial a um maior esforço na tentativa de negociar prazos nas entregas. Esta heurística não se preocupa com datas de entrega nem com prioridades, preocupa-se apenas em sequenciar artigos iguais ou da mesma família.

### Utilizacao dos recursos

A simulação desta sequencia apresenta-nos os seguintes resultados:

Start Time: 0,00 Stop Time: 79.137,71 Time Units: Minutes

Usage

	Inst Util	Num Busy	Num Sched	Num Seized	Sched Util
ajudante_S1	0,79	0,79	1,00	656,00	0,79
ajudante_S2	0,75	0,75	1,00	648,00	0,75
ajudante_S7	0,74	0,74	1,00	644,00	0,74
ajudante_S8	0,72	0,72	1,00	656,00	0,72
Artigo	0,00	0,00	1,00	1.790,00	0,00
Titular_S1	0,67	0,67	1,00	472,00	0,67
Titular_S2	0,65	0,65	1,00	467,00	0,65
Titular_S7	0,59	0,59	1,00	420,00	0,59
Titular_S8	0,62	0,62	1,00	431,00	0,62

Figura 50 – Resultados da simulação da regra PFA

$$\text{Taxa de ocupação média máquina} = \frac{0,67 + 0,65 + 0,59 + 0,62}{4} * 100 = 63,3\%$$

$$\text{Taxa de Ocupação Média do Op.Ajud.} = \frac{0,79 + 0,75 + 0,74 + 0,72}{4} * 100 = 75\%$$

Scheduled Utilization

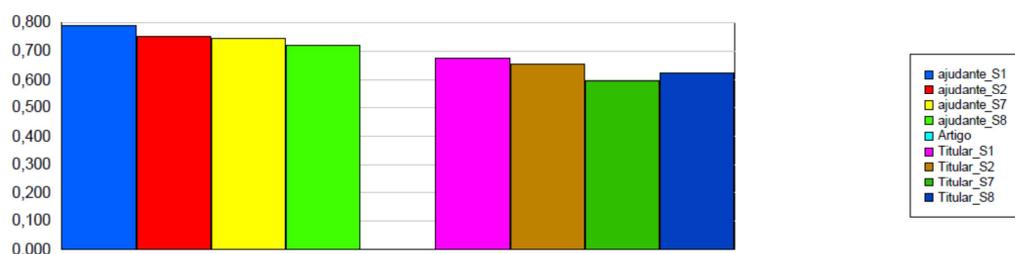


Gráfico 1 - Taxa de ocupação da regra PFA

A simulação desta regra possibilita referir que temos uma taxa de ocupação do ajudante de cerca de 75%. Este resultado deve-se ao facto de serem sequenciados artigos iguais o que faz com que não seja necessário a intervenção do ajudante.

### Tempos de operação por entidade

A imagem seguinte mostra o tempo médio de processamento de cada artigo por máquina.

#### Time per Entity

VA Time Per Entity	Average	Half Width	Minimum Value	Maximum Value
carr_ESQAS1	139.06	(Insufficient)	25.6280	402.50
Carr_ESQAS2	147.05	(Insufficient)	21.3919	372.78
Carr_ESQAS7	137.25	(Insufficient)	8.8938	327.99
Carr_ESQAS8	129.85	(Insufficient)	26.2855	345.18
Carr_ESQBS1	154.58	(Insufficient)	32.5067	640.59
Carr_ESQBS2	133.97	(Insufficient)	13.2326	287.45
Carr_ESQBS7	144.69	(Insufficient)	29.7313	310.19
Carr_ESQBS8	137.39	(Insufficient)	25.6237	442.49
Desc_ESQAS1	42.3497	(Insufficient)	9.6518	154.97
Desc_ESQAS2	43.4399	(Insufficient)	9.3357	95.4013
Desc_ESQAS7	40.6303	(Insufficient)	4.3732	100.73
Desc_ESQAS8	40.1114	(Insufficient)	7.3512	99.50
Desc_ESQBS1	45.2125	(Insufficient)	6.9516	200.27
Desc_ESQBS2	41.4631	(Insufficient)	4.5399	101.90
Desc_ESQBS7	43.1665	(Insufficient)	5.9408	104.81
Desc_ESQBS8	40.2776	(Insufficient)	7.6606	146.04
URS1	112.95	(Correlated)	41.3571	289.31
URS2	110.70	5,18699	34.3318	248.90
URS7	111.96	4,57893	45.4258	361.75
URS8	114.42	(Correlated)	40.7666	358.05

Figura 51 - Tempos médios de operação da regra PFA

Pode-se apurar que em todas as máquinas verifica-se um maior tempo de operação nas tarefas do operador ajudante (carregar + descarregar) do que na operação de urdir. Este tipo de situação traduz-se em tempos não produtivos. Por Exemplo:

### Máquina URS1

Carregar Esquinadeira A = 140 min + Descarregar Esquinadeira A = 42 min = 182 min

URS1 = 112 min

Podemos dizer que em média a URS1 fica a aguardar a carga cerca de 68 min/artigo.

### **Produtividade**

Nº de teias produzidas = 1790

Nº de horas gastas =  $\frac{79138}{60} = 1319 \text{ horas} * 4 \text{ máquinas} = 5276 \text{ Horas}$

Produtividade (teia) =  $\frac{\text{Numero de teias produzidas}}{\text{Nº de horas gastas}} = \frac{1790}{5276} = 0,34 \text{ teia/Hora}$

Nº de Metros produzidos = 11.114.445 metros (=∑ Metros, ver figura 105)

**Produtividade (metros)** =  $\frac{\text{Numero de metros produzidas}}{\text{Nº de horas gastas}} = \frac{1111445}{5276}$   
 = 210 metros/Hora

### 4.6.3 SPT - Shortest processing time

Esta regra dá prioridade á ordem de fabrico cujo o seu tempo de processamento é mais reduzido, (Lawrence & Sewell, 1997), (Baker, 1974), (Zhou, Feng, & Hang, 2001).

Esta simulação vai dar prioridade a ordem de fabrico com menos tempo processamento entre o  $\sum$  dos tempos do ajudante e o titular.

#### Utilizacao dos recursos

Start Time: 0,00 Stop Time: 86.563,17 Time Units: Minutes

#### Usage

	Inst Util	Num Busy	Num Sched	Num Seized	Sched Util
ajudante_S1	0,94	0,94	1,00	896,00	0,94
ajudante_S2	0,95	0,95	1,00	896,00	0,95
ajudante_S7	0,94	0,94	1,00	896,00	0,94
ajudante_S8	0,90	0,90	1,00	892,00	0,90
Artigo	0,00	0,00	1,00	1.790,00	0,00
Titular_S1	0,60	0,60	1,00	448,00	0,60
Titular_S2	0,60	0,60	1,00	448,00	0,60
Titular_S7	0,60	0,60	1,00	448,00	0,60
Titular_S8	0,59	0,59	1,00	446,00	0,59

Figura 52 – Resultados da simulação da regra SPT

$$\text{Taxa de ocupação média máquina} = \frac{0,60 + 0,60 + 0,60 + 0,59}{4} * 100 = 59,75\%$$

$$\text{Taxa de ocupação média op.ajudante} = \frac{0,94 + 0,95 + 0,94 + 0,90}{4} * 100 = 93,25\%$$

#### Scheduled Utilization

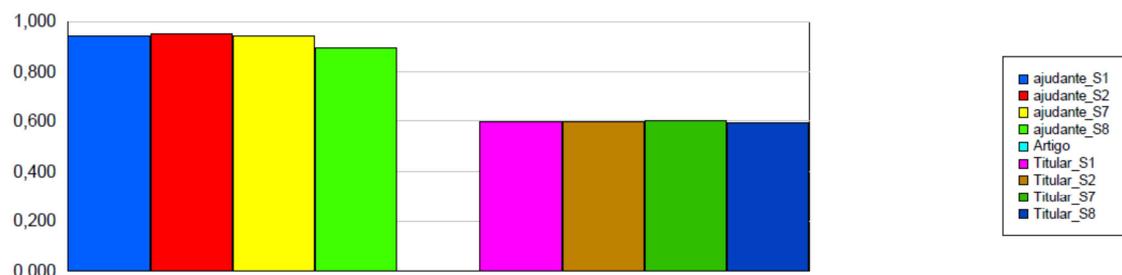


Figura 53 - Taxa de ocupação da regra SPT

## Tempos de operação por entidade

VA Time Per Entity	Average	Half Width	Minimum Value	Maximum Value
carr_ESQAS1	142.86	(Insufficient)	16.2660	507.08
Carr_ESQAS2	140.81	(Insufficient)	14.5425	433.84
Carr_ESQAS7	133.53	(Insufficient)	19.7261	417.70
Carr_ESQAS8	129.42	(Insufficient)	25.2725	306.53
Carr_ESQBS1	133.02	(Insufficient)	9.9843	349.34
Carr_ESQBS2	140.08	(Insufficient)	26.5046	313.70
Carr_ESQBS7	144.15	(Insufficient)	24.0482	714.83
Carr_ESQBS8	132.07	(Insufficient)	29.1179	272.62
Desc_ESQAS1	44.8863	(Insufficient)	4.5987	189.66
Desc_ESQAS2	43.7248	(Insufficient)	7.4731	189.41
Desc_ESQAS7	41.4361	(Insufficient)	4.9872	116.90
Desc_ESQAS8	43.2627	(Insufficient)	6.8335	122.81
Desc_ESQBS1	43.6041	(Insufficient)	4.2937	101.07
Desc_ESQBS2	43.4774	(Insufficient)	8.5907	151.10
Desc_ESQBS7	44.3714	(Insufficient)	4.8008	189.83
Desc_ESQBS8	43.0135	(Insufficient)	6.4453	101.06
URS1	115.38	(Correlated)	27.2057	318.22
URS2	115.18	(Correlated)	40.9827	294.64
URS7	116.17	(Correlated)	46.5661	329.65
URS8	115.13	(Correlated)	38.1775	292.02

Figura 54 - Tempos médios de operação da regra SPT

Estes resultados possibilitam concluir que o ajudante tem uma ocupação elevada (93%) e mesmo assim não consegue aumentar a taxa de ocupação da máquina (titular) que se mantém abaixo dos 60%.

## Produtividade

Nº de teias produzidas = 1790

$$\text{Nº de horas gastas} = \frac{86564}{60} = 1442 \text{ horas} * 4 \text{ máquinas} = 5768 \text{ horas}$$

$$\text{Produtividade (teia)} = \frac{\text{Numero de teias produzidas}}{\text{Nº de horas gastas}} = \frac{1790}{5768} = 0,31 \text{ teia/hora}$$

Nº de Metros produzidos = 11.114.445 metros (=∑ Metros, ver figura 105)

$$\begin{aligned} \text{Produtividade (metros)} &= \frac{\text{Numero de metros produzidas}}{\text{Nº de horas gastas}} = \frac{1111445}{5768} = \\ &= 192 \text{ metros/hora} \end{aligned}$$

### 4.6.4 DEM - Data de entrega mínima

O objectivo desta regra é sequenciar a produção através do prazo de entrega. (Roldão, 1995) Vamos sequenciar a produção pela data de entrega mais próxima.

#### Utilizacao dos recursos

Start Time: 0,00 Stop Time: 87.945,99 Time Units: Minutes

#### Usage

	Inst Util	Num Busy	Num Sched	Num Seized	Sched Util
ajudante_S1	0,89	0,89	1,00	896,00	0,89
ajudante_S2	0,95	0,95	1,00	896,00	0,95
ajudante_S7	0,93	0,93	1,00	896,00	0,93
ajudante_S8	0,93	0,93	1,00	892,00	0,93
Artigo	0,00	0,00	1,00	1.790,00	0,00
Titular_S1	0,60	0,60	1,00	448,00	0,60
Titular_S2	0,59	0,59	1,00	448,00	0,59
Titular_S7	0,58	0,58	1,00	448,00	0,58
Titular_S8	0,58	0,58	1,00	446,00	0,58

Figura 55 - Resultados da simulação da regra DEM

$$\text{Taxa de ocupação média máquina} = \frac{0,60 + 0,59 + 0,58 + 0,58}{4} * 100 = 58,75\%$$

$$\text{Taxa de ocupação média op. ajudante} = \frac{0,89 + 0,95 + 0,93 + 0,93}{4} * 100 = 92,50\%$$

#### Scheduled Utilization

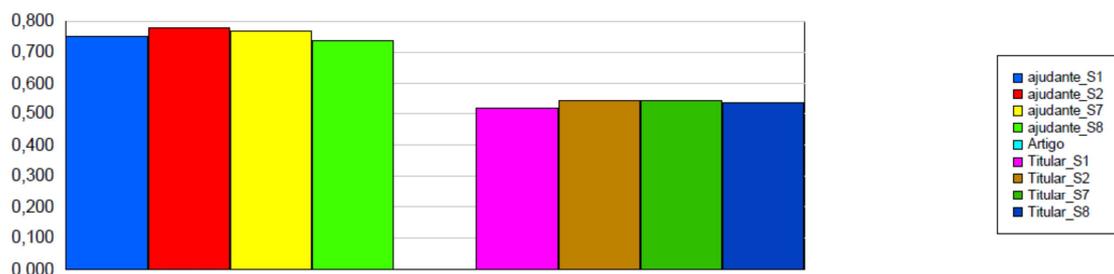


Figura 56 - Taxa de ocupação da regra DEM

## Tempos de operação por entidade

VA Time Per Entity	Average	Half Width	Minimum Value	Maximum Value
carr_ESQAS1	133.32	(Insufficient)	21.3227	507.89
Carr_ESQAS2	146.72	(Insufficient)	28.5590	514.58
Carr_ESQAS7	136.23	(Insufficient)	16.0502	476.19
Carr_ESQAS8	137.30	(Insufficient)	26.4920	330.05
Carr_ESQBS1	131.80	(Insufficient)	23.7885	529.44
Carr_ESQBS2	136.35	(Insufficient)	28.0187	338.34
Carr_ESQBS7	142.33	(Insufficient)	7.6584	490.56
Carr_ESQBS8	141.82	(Insufficient)	24.4318	313.99
Desc_ESQAS1	41.6647	(Insufficient)	7.5875	203.91
Desc_ESQAS2	44.8840	(Insufficient)	4.7376	159.72
Desc_ESQAS7	43.9501	(Insufficient)	3.7307	193.46
Desc_ESQAS8	44.5022	(Insufficient)	5.6140	121.50
Desc_ESQBS1	42.7342	(Insufficient)	6.5888	155.74
Desc_ESQBS2	43.5575	(Insufficient)	4.1116	110.03
Desc_ESQBS7	43.4333	(Insufficient)	3.7114	125.59
Desc_ESQBS8	42.2223	(Insufficient)	9.0397	108.18
URS1	118.11	(Correlated)	36.7485	288.70
URS2	115.53	4,59282	36.3944	251.76
URS7	114.64	3,92548	43.1166	387.10
URS8	113.92	3,19746	48.8529	269.64

Figura 57 - Tempos médios de operação da regra DEM

## Produtividade

Tempo de produção = 87946 min

Nº Teias = 1790

$$\text{Nº de horas gastas} = \frac{87946}{60} = 1466 \text{ horas} * 4 \text{ máquinas} = 5864 \text{ horas}$$

$$\text{Produtividade (teia)} = \frac{\text{Numero de teias produzidas}}{\text{Nº de horas gastas}} = \frac{1790}{5864} = 0,30 \text{ teia/hora}$$

Nº de Metros produzidos = 11.114.445 metros (=∑ Metros, ver figura 105)

$$\begin{aligned} \text{Produtividade (metros)} &= \frac{\text{Numero de metros produzidas}}{\text{Nº de horas gastas}} = \frac{1111445}{5864} \\ &= 189 \text{ metros/hora} \end{aligned}$$

### 4.6.5 NOP - Número de operações

Esta regra tem como finalidade processar as tarefas com o menor número de operações, ou seja, sequenciar a produção dando prioridade aos artigos que têm menos fitas.

#### Utilizacao dos recursos

Start Time: 0,00 Stop Time: 89.239,08 Time Units: Minutes

#### Usage

	Inst Util	Num Busy	Num Sched	Num Seized	Sched Util
ajudante_S1	0,90	0,90	1,00	896,00	0,90
ajudante_S2	0,92	0,92	1,00	896,00	0,92
ajudante_S7	0,91	0,91	1,00	896,00	0,91
ajudante_S8	0,92	0,92	1,00	892,00	0,92
Artigo	0,00	0,00	1,00	1.790,00	0,00
Titular_S1	0,58	0,58	1,00	448,00	0,58
Titular_S2	0,59	0,59	1,00	448,00	0,59
Titular_S7	0,57	0,57	1,00	448,00	0,57
Titular_S8	0,59	0,59	1,00	446,00	0,59

Figura 58 - Resultados da simulação da regra NOP

$$\text{Taxa de ocupação média máquina} = \frac{0,58 + 0,59 + 0,57 + 0,59}{4} * 100 = 58,25\%$$

$$\text{Taxa de ocupação média op. ajudante} = \frac{0,90 + 0,92 + 0,91 + 0,92}{4} * 100 = 91,25\%$$

#### Scheduled Utilization

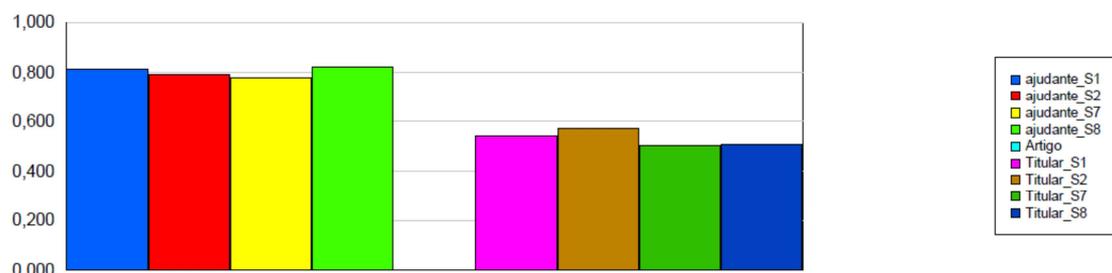


Figura 59 - Taxa de ocupação da regra NOP

## Tempos de operação por entidade

VA Time Per Entity	Average	Half Width	Minimum Value	Maximum Value
carr_ESQAS1	136.05	(Insufficient)	17.3563	596.42
Carr_ESQAS2	139.13	(Insufficient)	13.5179	439.10
Carr_ESQAS7	137.51	(Insufficient)	23.9929	310.26
Carr_ESQAS8	135.39	(Insufficient)	18.8542	380.91
Carr_ESQBS1	133.83	(Insufficient)	17.1450	320.57
Carr_ESQBS2	141.86	(Insufficient)	22.0906	641.72
Carr_ESQBS7	138.70	(Insufficient)	7.9061	335.48
Carr_ESQBS8	144.83	(Insufficient)	33.2870	558.38
Desc_ESQAS1	43.6116	(Insufficient)	4.1224	126.12
Desc_ESQAS2	43.4723	(Insufficient)	4.9608	149.27
Desc_ESQAS7	42.9641	(Insufficient)	4.0397	124.37
Desc_ESQAS8	41.1232	(Insufficient)	7.2191	126.22
Desc_ESQBS1	44.2294	(Insufficient)	4.5715	149.80
Desc_ESQBS2	43.7039	(Insufficient)	5.7013	96.9286
Desc_ESQBS7	42.1129	(Insufficient)	3.7156	123.03
Desc_ESQBS8	45.5043	(Insufficient)	8.6416	218.50
URS1	114.95	(Correlated)	31.3844	298.42
URS2	116.53	(Correlated)	41.8600	309.19
URS7	114.23	(Correlated)	45.8876	270.59
URS8	118.18	(Correlated)	49.6227	279.44

Figura 60 - Tempos médios de operação da regra NOP

## Produtividade

Nº Teias = 1790

$$\text{Nº de horas gastas} = \frac{89240}{60} = 1487 \text{ horas} * 4 \text{ máquinas} = 5948 \text{ horas}$$

$$\text{Produtividade (teia)} = \frac{\text{Numero de teias produzidas}}{\text{Nº de horas gastas}} = \frac{1790}{5948} = 0,30 \text{ teia/hora}$$

Nº de Metros produzidos = 11.114.445 metros (=∑ Metros, ver figura 105)

$$\begin{aligned} \text{Produtividade (metros)} &= \frac{\text{Numero de metros produzidas}}{\text{Nº de horas gastas}} = \frac{1111445}{5948} \\ &= 186 \text{ metros/hora} \end{aligned}$$

## 4.7 Avaliação da aplicação das heurísticas

Na tabela seguinte encontram-se os indicadores de produção extraídos da simulação, que nos permite comparar as regras heurísticas escolhidas.

	Prod Real	SPReal	PFA	SPT	DEM	NOP
<b>Produtividade (metro/hora)</b>	150	150	210	192	189	186
<b>Produtividade (teia/hora)</b>	0,24	0,24	0,34	0,31	0,30	0,30
<b>Taxa Ocupação média</b>	52,00%	46,50%	63,30%	59,75%	58,75%	58,25%
<b>Taxa Ocupação do Ajudante</b>	-	-	75%	93,25	92,5%	91,25%
<b>Tempo produção (horas)</b>	7380	7380	5276	5768	5864	5948

Tabela 7 -Resumo dos resultados da simulação

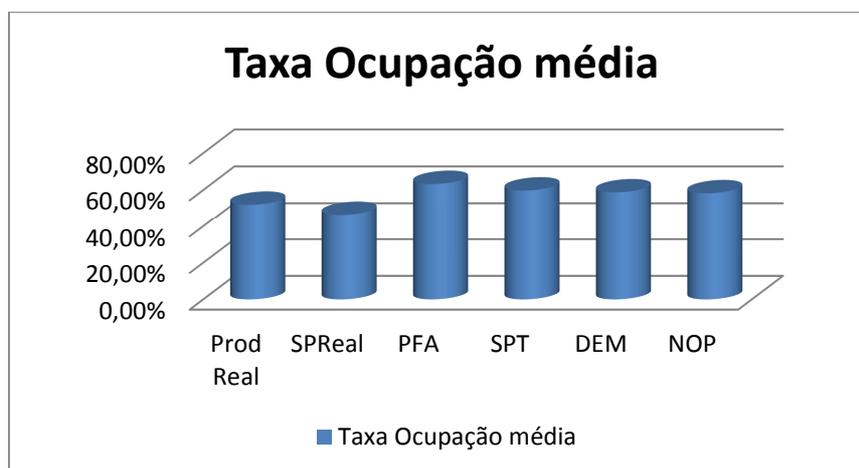


Figura 61 - Taxa de ocupação média

Os resultados apresentados permitem tirar as seguintes conclusões:

- A simulação da produção real no mesmo período de tempo tem uma taxa de ocupação inferior em ~5,5%. Esta pequena diferença permite validar o modelo construído, contudo esta diferença pode traduzir-se em pequenas operações que acontecem na realidade e que no modelo não se reflecte.
- A simulação da regra processamento por famílias de artigo apresenta uma taxa de ocupação em cerca de 63%. O resultado desta simulação permite um aumento taxa de ocupação em ~11% em relação ao valor real obtido e ~16% em relação a simulação da produção real. Com este resultado a produtividade aumenta em cerca de 60 metros/hora. A taxa de ocupação do ajudante também é alterada de

uma forma muito significativa comparativamente com as outras regras em cerca de 15%. Este tipo de situação pode ser um factor positivo no sentido de aproveitar o recurso para apoiar máquinas que possam ter atrasos, permitindo assim aumentar a taxa de ocupação da máquina.

A desvantagem desta regra é que não considera os prazos de entrega, o que pode provocar atrasos nas entregas ao cliente. Estes indicadores são bastante ambiciosos, contudo é de referir a importância do planeamento na forma como pode agrupar a produção dos artigos iguais no mesmo período de tempo de forma a reduzir os atrasos.

- O resultado da regra shortest processing time em relação ao que se passou no último quadrimestre de 2010, em termos de taxa de ocupação tem um ganho de ~7% e em relação a simulação no mesmo período de tempo tem um ganho de ~13%. Esta ocupação permitiu um aumento em cerca de 42 metros/hora.
- A DEM e a NOP tem resultados muito aproximados da regra SPT. A taxa de ocupação teve um ganho de ~6% em relação ao último quadrimestre e ~11% em relação a simulação. A produtividade para estas duas regras também teve um pequeno aumento em cerca de 36 metros/hora.

Em resumo, pode-se referir que a melhor regra simulada é a PFA, contudo é necessário um trabalho de planeamento por parte da logística para programar os artigos iguais e da mesma família de uma forma sequencial.

Outro factor que permitiu um aumento da produtividade em todas as regras aplicadas foi o abastecimento das matérias primas. Este veio permitir que o operador ajudante dedicasse apenas operações de carga e descarga, disponibilizando a carga seguinte o mais cedo possível de forma a reduzir o tempo de paragem da máquina.

Para concluir este capítulo, é de referir que mesmo aplicando estas regras ainda estamos longe de eliminar os atrasos e as esperas. Pelo resultado das simulações, podemos constatar que o tempo do ajudante é superior ao tempo do titular, provocando desta forma os atrasos.



## 5. Conclusão

A procura de soluções para um problema existente na minha área de responsabilidade profissional tornou-se um desafio muito estimulante. A utilização da simulação para a resolução deste problema de sequenciação revelou-se como uma contribuição muito positiva para a minimização e eliminação de alguns desperdícios. A aplicação conjunta de heurísticas com ferramentas de simulação pode trazer às nossas indústrias uma rápida capacidade de decisão sem grandes custos.

O conhecimento do processo produtivo foi uma vantagem para o progresso da investigação. O interesse pessoal e o empenho do gestor de produção em melhorar a produtividade, motivou-me, possibilitando que a realização deste trabalho fosse um sucesso.

A modelação do sistema produtivo foi a fase do trabalho que exigiu mais tempo na pesquisa de dados e desenvolvimento, de forma a garantir que as simulações fossem o mais autênticas possível.

Para fazer face à crise, a empresa sofreu uma reestruturação provocando uma redução drástica em recursos humanos. A implementação do abastecedor submetia à empresa a criação de mais três postos de trabalho. A apresentação das simulações do abastecimento ao gestor para comprovar as vantagens da utilização do abastecedor foi o grande desafio.

A aplicação do Arena como ferramenta de simulação, teve em conta o conhecimento adquirido na disciplina de simulação durante a especialização realizada na Universidade do Minho. A utilização da simulação na obtenção dos resultados após a aplicação das regras é bastante eficaz.

## 5.1 Contributos do trabalho desenvolvido

O objectivo deste trabalho é permitir melhorar o desempenho da unidade industrial possibilitando o aumento da produtividade. A programação da produção é o ponto de partida para atingir a nossa finalidade. A utilização de modelos matemáticos, com vista à optimização, ou técnicas como algoritmos genéticos seriam algumas das soluções possíveis para o nosso problema. A pesquisa de solução óptima num problema combinatório desta dimensão seria impraticável e heurísticas complexas com um custo/tempo de desenvolvimento elevado colocando-as fora do alcance de um trabalho de mestrado. Assim, considerámos que as regras da prioridade (heurísticas construtivas simples) combinadas com uma ferramenta de simulação seriam um passo positivo no aumento da produtividade da secção em estudo.

A criação de um novo método de leitura da ficha técnica foi o primeiro passo para minimização dos tempos de mudança. Apesar de reduzir cerca de 10% na operação carregar esquinadeiras é necessário continuar a pesquisa de ideias no sentido de facilitar as operações tornando o processo mais rápido.

A implementação do abastecedor foi o grande desafio. A simulação dos dois cenários com e sem abastecedor foi extremamente importante para garantir mais 3 postos de trabalho. Com a introdução da nova forma de abastecer as máquinas conquistámos um aumento da taxa de ocupação das máquinas em cerca de 6%. Esta não é a solução ideal, mas com a filosofia actual é um contributo positivo.

O resultado da simulação foi bastante positivo, das regras simuladas constatamos que a PFA é a regra que melhores resultados apresenta, aproximadamente 11%, contudo é necessário um planeamento a médio prazo de forma a juntar os artigos da mesma família sem prejudicar os prazos de entrega acordado com os clientes. A regra SPT a DEM e a NOP pela simulação concluímos que os resultados são muito próximos. Estes valores encontram-se acima dos valores reais em cerca de 6%.

Podemos concluir que, com qualquer uma das regras aplicadas, obtêm-se um aumento da produtividade em relação ao que foi produzido no último quadrimestre de 2010. Tendo em conta a satisfação dos clientes, a regra DEM está bem posicionada para ser a seleccionada, mas a PFA pode ser uma solução mais interessante no futuro.

Pelos resultados apresentados, nenhuma das regras aplicadas constitui a solução óptima para o nosso problema, contudo, permite-nos obter melhorias valiosas.

## 5.2 Trabalhos Futuros

Esta organização utiliza o sistema de produção tradicional (*Push*). Devido a elevada exigência dos mercados com grandes variedades de produtos e com prazos muito reduzidos a empresa tem necessidade de um sistema muito flexível. Tem-se notado que o sistema utilizado não responde a todas estas exigências. Por estas razões, e fruto do trabalho desenvolvido e conhecimentos adquiridos neste período, proponho para trabalhos futuros:

- A implementação da filosofia *Lean Manufacturing* de uma forma sustentada. Esta filosofia é constituída por metodologias de simples aplicação sem grandes custos que facilitam a eliminação de desperdícios, e que provocam um aumento da produtividade. A implementação proposta passa pela aplicação de algumas metodologias/ferramentas:
  - ✓ Sistema *Pull* – Melhorar resposta às flutuações do mercado;
  - ✓ *MilkRun* – Abastecimento programado;
  - ✓ *Smed* – Redução dos tempos de mudança.
- Melhorar e alargar o modelo de simulação (em *Arena*) a todas as secções do sistema produtivo no sentido de utilizar a ferramenta não só para a programação da produção mas também para detectar possíveis pontos de estrangulamento em todo o processo produtivo.
- Alargamento deste trabalho de investigação às restantes secções da empresa no sentido de eliminar desperdícios, de forma a aumentar a produtividade da empresa.



---

## Bibliografia

B.L.MacCarthy, & Lui, J. (1993). A new classification scheme for flexible manufacturing Systems. *International Journal of Production Research*, 299-309.

Baker, R. K. (1974). *Introduction to Sequencing and Scheduling* . USA: John Wiley & Sons .

Banks, J. (2000). *Introduction to Simulation*. Atlanta,USA.

Banks, J., Carson, J. S., Nelson, B. L., & Nicol, D. M. (2005). *Discrete-event Simulation.4.ed*. Upper Saddle River: Prentice-Hall.

Brown, D. E., & Scherer, W. T. (1995). *Intelligent Scheduling Systems* . Boston: Kluwer Academic Publishers.

Carlier, J. (1982). The One-machine Sequencing Problem. *European Journal of Operations Research Vol 11*, 42-47.

Carlier, J., & Chretienne, P. (1988). Timed Petri net schedules. *Advances in Petri Nets'88*, 62-84.

Carlier, J., & Pison, E. (1989). An algorithm for solving the job shop problem. *Managment Science Vol. 35*, 167-176.

Carvalho, D. (2003). *Produtividade Protuguesa*. Obtido em 2011 de 03 de 23, de Universidade do Minho: <http://pessoais.dps.uminho.pt/jdac/apontamentos/Produtividade/produtividade.html>

Carvalho, D. (2008). Obtido em 13 de Março de 2011, de <http://pessoais.dps.uminho.pt/jdac/apontamentos/IntrodSistProd.pdf>

Carvalho, D. (2010). Cultura “Lean” nas Organizações Portuguesas. 3.

Conway, R. (1965). Priority dispatching and job lateness in a job shop. *Journal of Industrial Engineering* , 228-267.

**Feld, W. M. (2001). Lean Manufacturing - Tools, Techniques, and How to use them . Florida: St Lucie Press .**

**Gerwin. (1993). Manufacturing Flexibility - A strategic Perspective. *Managment Science*, 395-410.**

**Glover, F. (1989). Tabu Search - Part I. *Journal on Computing* , 190-206.**

**Greif, M. (1991). *The Visual Factory*. Massachusetts: Productivity Press.**

**Harrel, C. R., Ghosh, B. K., & Bowden, R. (2000). *Simulation Using Promodel*. McGraw-Hill.**

**Hoogeveen, H. (2005). Multicriteria scheduling. *European Journal of Research*, 592-623.**

**Jr.Blackstone, J.H.Phillips, D.T, & G.L.Hoog. (1982). A State of the art Survey of Dispatching Rules Manufacturing Job Shop Operations. *International Journal of Production Research*, 27-45.**

**Kane, J., Spenceley, J., & Taylor, R. (2000). Simulation as an essential tool for advanced manufacturing. *Journal of Materials Processing Technology*, 107, 412-424.**

**Kanet, J. J. (1982). Priority Dispatching with Operation Due Dates in a Job Shop. *Journal of Operations Management*, Vol. 2, 167-175.**

**Lawler, E., J., L., & Shmoys, R. K. (1993). Sequencing and Scheduling: Algorithms and Complexity, em Logistics of production and inventory. North Holland: ZipKin eds.**

**Lawrence, S., & Sewell. (1997). Heuristic, Optimal, Static, and Dynamic schedules when processing times are uncertain. *Journal of Operations Management Vol 15*, 71-82.**

**Lee, Y. H., & Lee, B. (2003). Push-pull production planning of the re-entrant process. *Int J Adv Manuf Technol*, (p. 1).**

Louis, R. (1997). *Integrating kanban with mrpII: automating a pull system for enhanced jit inventory management*. Portland. Productivity Press,.

M.Imai. (2000). *Gemba Kaizen - Estratégias e Técnicas do Kaizen no Piso da Fábrica*. São Paulo: Instituto IMAM.

MACCARTHY, B. L., & LIU, J. Y. (1993). Addressing the gap in scheduling research: a review of optimization and heuristic methods in production scheduling. *International Journal of Production Research*, 59-79.

Montevecchi, J. A., Galhardo, M. R., & Silva, W. A. (2004). Otimização de uma célula de manufatura utilizando simulação. *XXIV Encontro Nac. de Eng. de Produção*, (p. 8). Florianópolis.

Montevecchi, J. A., Turrioni, J. B., Almeida, D., Mergulhão, R., & Leal, F. (2002). Análise comparativa entre regras heurísticas de sequenciamento da produção aplicada em job shop. *Produção & Produção, Vol 6, n.2*, 12-18.

Motta, R. C., Rodrigues, J., Silva, R. P., Mascarenhas, R. A., & Barros, J. G. (2009). A Contribuição do Sistema Milk Run para a melhoria do fluxo de materiais na cadeia de suprimentos. *XIII Encontro Latino Americano de Iniciação Científica e IX Encontro Latino Americano de Pós-Graduação*, (p. 4). Universidade de Taubaté – UNITAU.

Moura, D. A., & Botter, R. C. (Jan-Jun de 2002). *Caracterização do Sistema de Colecta Programada de Peças, Milk Run*. Obtido em 15 de 03 de 2011, de RAE-eletrônica:

<http://www.rae.com.br/electronica/index.cfm?FuseAction=Artigo&ID=1050&Secao=OPERA/LOGI&Volume=1&Numero=1&Ano=2002>

Narasimham, S., Mcleavey, D. W., & Billington, P. J. (1995). *Production planning and inventory control. 2 Edição*. Portland: Productivity Press.

O’KANE, J., SPENCELEY, J., & TAYLOR, R. (2000). Simulation as an essential tool for advanced manufacturing. *Journal of Materials Processing Technology*, 412-424.

Oliveira, C. S. (Set-Dez de 2008). Application of simulation techniques in lean manufacturing projects. *Estudos Tecnológicos - Vol. 4, n° 3: 204-217*, p. 14.

Pinedo, M. (1995). *Scheduling - Theory, Algorithms, and Systems*. New Jersey: Prentice-hall.

Pinho, A. F., Montevechi, J. A., & Martins, F. A. (2008). Avaliação de um método de otimização proposto para modelos de simulação a eventos discretos. p. 12.

Pinto, J. P. (Setembro 2006). *Gestão de Operações na Indústria e nos Serviços*. Porto: Lidel - Edições Tecnicas,Lda.

Q. Hao, W. S. (2008). Implementing a hybrid simulation model for a Kanban-based material. *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing* , 635-646.

Raghu, T., & Rajendran, C. (1993). An efficient dynamic dispatching rule for scheduling in a job shop . *International Journal of Production Economics, Vol 32* , 301-313.

Rebelo, R. J. (s.d.). *Manual Arena 9.0*. Obtido em 12 de 10 de 2010, de Universidade Federal de Santa Catarina : [www.das.ufsc.br/.../ARENA/Manual%20ARENA/Manual-ARENA9.pdf](http://www.das.ufsc.br/.../ARENA/Manual%20ARENA/Manual-ARENA9.pdf)

Roldão, V. S. (1995). *Planeamento e Programação da Produção* . Lisboa : Monitor - Projectos e Edições,Lda.

Shannon, R. E. (1975). *Systems simulation: the art and science*. Englewood Cliffs: Prentice-Hal: Englewood: Prentice-all.

Shingo, S. (1996). *Sistemas de produção com estoque zero: o sistema shingo para melhorias contínuas*. Rio Grande do Sul: Bookman.

Tarantilis, C., & Kiranoudis, C. (2002). A List-based threshold accepting method for job shop scheduling problems. *International Journal of Production Economics, Vol 77*, 159-171.

The Productivity Press Development Team. (2002). *Pull Production for the Shopfloor*. New York: Productivity Press.

**Torga, B., Montevechi, J., & Pinho, A. (2006). Modelagem, simulação e otimização em sistemas puxados de. *XIII SIMPEP*, (p. 12). Bauru.**

**Tubino, D. F. (1997). Manual de planejamento e controle da produção. São Paulo: Atlas**

**Uckun, Serdar, Sugato, Kazuhiko, & Yutaka. (Outubro de 1993). Managing Genetic Search in Job Shop Scheduling . *IEEE Expert*, (pp. 15-24).**

**Uysal, O., & Bulkan, S. (2008). Comparison of Genetic Algorithm and Particle Swarm Optimization for Bicriteria Permutation Flowshop Scheduling Problem. *International Journal of Computational Intelligence Research ISSN 0973-1873 Vol.4, No.2*, 159-175.**

**Vaessens, R. J., Aarts, E. H., & Lenstra, J. K. (1996). Job Shop Scheduling by Local Search. *Inform Journal on Computing*, 302-317.**

**Womack, J. P., Jones, D. T., & Roos, D. (1990). *The Machine That Changed The World* . New York: Stanley S. Drate.**

**Zhou, H., Feng, Y., & Hang, L. (2001). The hybrid heuristic genetic algorithm for job shop scheduling. *Computers & Industrial Engineering* , 191-200.**



# Anexo 1 – Mapa das O.F. Activas

Todas as ordens de fabrico

The image shows a screenshot of a Microsoft Excel spreadsheet titled 'testearena.xlsx'. The spreadsheet contains a table with 26 columns and 35 rows of data. The columns are labeled as follows: C, D, E, F, G, H, J, K, N, T, X, Z, AD, AE, AH, AI, AJ, AK, AL, AM, AN, AP, AQ. The data rows contain various alphanumeric codes and numerical values. The first row (row 2) is highlighted in yellow and contains the value '100014B' in column C. The table includes columns for 'REFERENCIA', 'LARG', 'COR', 'Ref\_total', 'Ref\_numerica', 'Ref\_numerica\_Total', 'ORDTEC', 'METROS', 'Data Planeada', 'TEAR', 'CLIENT', 'ORDPRE', 'Status-GI', 'FITAS', 'BATEIA', 'BOBINES', 'T. Carregar (min)', 'T.urdir (min)', 'T. Desc (min)', 'tempo total ajudante', 'tempo total titular', 'Tempo Total Artigo', and 'MÊS'.

Figura 62 - Mapa das ordens de fabrico



## Anexo 2 – Simulação detalhada dos processos

### PFA - Processamento por Famílias de Artigo

Resultados da simulação na operação carregar na Esquinadeira A da Urdideira S1 e S2.

23:39:54		Processes			Março 8, 2011	
<b>Unnamed Project</b>				Replications: 1		
<b>Replication 1</b>		Start Time:	0,00	Stop Time:	79.137,71	Time Units: Minutes
<b>carr_ESQAS1</b>						
<b>Time per Entity</b>		<b>Average</b>	<b>Half Width</b>	<b>Minimum</b>	<b>Maximum</b>	
Wait Time Per Entity		7.5061	(Insufficient)	0	239.38	
VA Time Per Entity		139.06	(Insufficient)	25.6280	402.50	
Total Time Per Entity		146.56	(Insufficient)	35.4593	409.61	
<b>Accumulated Time</b>		<b>Value</b>				
Accum Wait Time		1,238.51				
Accum VA Time		22,944.57				
<b>Other</b>		<b>Value</b>				
Number In		165				
Number Out		165				
<b>Carr_ESQAS2</b>						
<b>Time per Entity</b>		<b>Average</b>	<b>Half Width</b>	<b>Minimum</b>	<b>Maximum</b>	
Wait Time Per Entity		7.7278	(Insufficient)	0	282.45	
VA Time Per Entity		147.05	(Insufficient)	21.3919	372.78	
Total Time Per Entity		154.78	(Insufficient)	21.3919	372.78	
<b>Accumulated Time</b>		<b>Value</b>				
Accum Wait Time		1,251.91				
Accum VA Time		23,822.28				
<b>Other</b>		<b>Value</b>				
Number Out		162				
Number In		162				

Figura 63 - Resultados da simulação PFA a carregar na Esq. A da URS1 e URS2

Resultados da simulação na operação carregar na Esquinadeira A da Urdideira S7 e S8.

23:39:54		Processes			Março 8, 2011	
<b>Unnamed Project</b>				Replications: 1		
<b>Replication 1</b>		Start Time:	0,00	Stop Time:	79.137,71	Time Units: Minutes
<b>Carr_ESQAS7</b>						
<b>Time per Entity</b>		<b>Average</b>	<b>Half Width</b>	<b>Minimum</b>	<b>Maximum</b>	
Wait Time Per Entity		6.4320	(Insufficient)	0	305.19	
Total Time Per Entity		143.69	(Insufficient)	8.8938	473.94	
VA Time Per Entity		137.25	(Insufficient)	8.8938	327.99	
<b>Accumulated Time</b>		<b>Value</b>				
Accum Wait Time		1,035.55				
Accum VA Time		22,097.85				
<b>Other</b>		<b>Value</b>				
Number Out		161				
Number In		161				
<b>Carr_ESQAS8</b>						
<b>Time per Entity</b>		<b>Average</b>	<b>Half Width</b>	<b>Minimum</b>	<b>Maximum</b>	
Wait Time Per Entity		9.2282	(Insufficient)	0	237.36	
VA Time Per Entity		129.85	(Insufficient)	26.2855	345.18	
Total Time Per Entity		139.08	(Insufficient)	26.2855	428.89	
<b>Accumulated Time</b>		<b>Value</b>				
Accum VA Time		21,554.59				
Accum Wait Time		1,531.88				
<b>Other</b>		<b>Value</b>				
Number Out		166				
Number In		166				

Figura 64 - Resultados da simulação PFA a carregar na Esq. A da URS7 e URS8.

Resultados da simulação na operação carregar na Esquinadeira B da Urdideira S1 e S2.

23:39:54		Processes			Março 8, 2011	
<b>Unnamed Project</b>				Replications: 1		
<b>Replication 1</b>		Start Time:	0,00	Stop Time:	79.137,71	Time Units: Minutes
<b>Carr_ESQBS1</b>						
Time per Entity		Average	Half Width	Minimum	Maximum	
VA Time Per Entity		154.58	(Insufficient)	32.5067	640.59	
Wait Time Per Entity		9.0093	(Insufficient)	0	279.96	
Total Time Per Entity		163.59	(Insufficient)	39.8059	683.09	
Accumulated Time		Value				
Accum VA Time		25,197.31				
Accum Wait Time		1,468.51				
Other		Value				
Number In		163				
Number Out		163				
<b>Carr_ESQBS2</b>						
Time per Entity		Average	Half Width	Minimum	Maximum	
Total Time Per Entity		139.94	(Insufficient)	13.2326	344.57	
VA Time Per Entity		133.97	(Insufficient)	13.2326	287.45	
Wait Time Per Entity		5.9613	(Insufficient)	0	153.96	
Accumulated Time		Value				
Accum Wait Time		965.73				
Accum VA Time		21,703.79				
Other		Value				
Number In		162				
Number Out		162				

Figura 65 - Resultados da simulação PFA a carregar na Esq. B da URS1 e URS2

Resultados da simulação na operação carregar na Esquinadeira B da Urdideira S7 e S8.

23:39:54		Processes			Março 8, 2011	
<b>Unnamed Project</b>				Replications: 1		
<b>Replication 1</b>		Start Time:	0,00	Stop Time:	79.137,71	Time Units: Minutes
<b>Carr_ESQBS7</b>						
Time per Entity		Average	Half Width	Minimum	Maximum	
Total Time Per Entity		149.41	(Insufficient)	29.7313	434.23	
VA Time Per Entity		144.69	(Insufficient)	29.7313	310.19	
Wait Time Per Entity		4.7186	(Insufficient)	0	222.70	
Accumulated Time		Value				
Accum VA Time		23,294.72				
Accum Wait Time		759.69				
Other		Value				
Number Out		161				
Number In		161				
<b>Carr_ESQBS8</b>						
Time per Entity		Average	Half Width	Minimum	Maximum	
Total Time Per Entity		141.75	(Insufficient)	25.6237	490.32	
Wait Time Per Entity		4.3688	(Insufficient)	0	170.35	
VA Time Per Entity		137.39	(Insufficient)	25.6237	442.49	
Accumulated Time		Value				
Accum VA Time		22,256.55				
Accum Wait Time		707.74				
Other		Value				
Number In		162				
Number Out		162				

Figura 66 - Resultados da simulação PFA a carregar na Esq. B da URS7 e URS8

Resultados da simulação na operação descarregar na Esquinadeira A da Urdideira S1 e S2.

23:39:54		Processes			Março 8, 2011	
<b>Unnamed Project</b>				Replications: 1		
<b>Replication 1</b>		Start Time:	0,00	Stop Time:	79.137,71	Time Units: Minutes
<b>Desc_ESQAS1</b>						
Time per Entity		Average	Half Width	Minimum	Maximum	
VA Time Per Entity		42.3497	(Insufficient)	9.6518	154.97	
Wait Time Per Entity		79.7882	(Insufficient)	0	632.98	
Total Time Per Entity		122.14	(Insufficient)	9.6518	702.01	
Accumulated Time		Value				
Accum Wait Time		13,165.06				
Accum VA Time		6,987.71				
Other		Value				
Number In		165				
Number Out		165				
<b>Desc_ESQAS2</b>						
Time per Entity		Average	Half Width	Minimum	Maximum	
VA Time Per Entity		43.4399	(Insufficient)	9.3357	95.4013	
Total Time Per Entity		104.33	(Insufficient)	11.3746	298.99	
Wait Time Per Entity		60.8928	(Insufficient)	0	247.02	
Accumulated Time		Value				
Accum VA Time		7,037.27				
Accum Wait Time		9,864.64				
Other		Value				
Number Out		162				
Number In		162				

Figura 67 - Resultados da operação PFA a descarregar na Esq. A na URS1 e URS2

Resultados da simulação na operação descarregar na Esquinadeira B da Urdideira S1 e S2.

23:39:54		Processes			Março 8, 2011	
<b>Unnamed Project</b>				Replications: 1		
<b>Replication 1</b>		Start Time:	0,00	Stop Time:	79.137,71	Time Units: Minutes
<b>Desc_ESQBS1</b>						
<b>Time per Entity</b>		<b>Average</b>	<b>Half Width</b>	<b>Minimum</b>	<b>Maximum</b>	
Wait Time Per Entity	58.7932	(Insufficient)	0	319.84		
Total Time Per Entity	104.01	(Insufficient)	10.0909	350.57		
VA Time Per Entity	45.2125	(Insufficient)	6.9516	200.27		
<b>Accumulated Time</b>		<b>Value</b>				
Accum Wait Time	9,583.29					
Accum VA Time	7,369.64					
<b>Other</b>		<b>Value</b>				
Number In	163					
Number Out	163					
<b>Desc_ESQBS2</b>						
<b>Time per Entity</b>		<b>Average</b>	<b>Half Width</b>	<b>Minimum</b>	<b>Maximum</b>	
Wait Time Per Entity	70.8710	(Insufficient)	0	287.65		
Total Time Per Entity	112.33	(Insufficient)	6.3994	346.15		
VA Time Per Entity	41.4631	(Insufficient)	4.5399	101.90		
<b>Accumulated Time</b>		<b>Value</b>				
Accum Wait Time	11,481.11					
Accum VA Time	6,717.03					
<b>Other</b>		<b>Value</b>				
Number Out	162					
Number In	162					

Figura 68 - Resultados da simulação PFA a descarregar na Esq. B da URS1 e URS2

Resultados da simulação na operação descarregar na Esquinadeira B da Urdideira S7 e S8.

23:39:54		Processes			Março 8, 2011	
<b>Unnamed Project</b>				Replications: 1		
<b>Replication 1</b>		Start Time:	0,00	Stop Time:	79.137,71	Time Units: Minutes
<b>Desc_ESQBS7</b>						
<b>Time per Entity</b>	<b>Average</b>	<b>Half Width</b>	<b>Minimum</b>	<b>Maximum</b>		
Total Time Per Entity	108.96	(Insufficient)	8.5286	294.60		
VA Time Per Entity	43.1665	(Insufficient)	5.9408	104.81		
Wait Time Per Entity	65.7899	(Insufficient)	0	219.35		
<b>Accumulated Time</b>	<b>Value</b>					
Accum Wait Time	10,592.18					
Accum VA Time	6,949.80					
<b>Other</b>	<b>Value</b>					
Number In	161					
Number Out	161					
<b>Desc_ESQBS8</b>						
<b>Time per Entity</b>	<b>Average</b>	<b>Half Width</b>	<b>Minimum</b>	<b>Maximum</b>		
Wait Time Per Entity	61.8144	(Insufficient)	0	264.70		
Total Time Per Entity	102.09	(Insufficient)	7.6606	410.75		
VA Time Per Entity	40.2776	(Insufficient)	7.6606	146.04		
<b>Accumulated Time</b>	<b>Value</b>					
Accum VA Time	6,524.97					
Accum Wait Time	10,013.94					
<b>Other</b>	<b>Value</b>					
Number In	162					
Number Out	162					

Figura 69 - Resultados da simulação PFA a descarregar na Esq. B da URS7 e URS8

Resultados da simulação na operação Urdir da Urdideira S1 e S2.

23:39:54		Processes			Março 8, 2011	
<b>Unnamed Project</b>				Replications: 1		
<b>Replication 1</b>		Start Time:	0,00	Stop Time:	79.137,71	Time Units: Minutes
<b>URS1</b>						
<b>Time per Entity</b>	<b>Average</b>	<b>Half Width</b>	<b>Minimum</b>	<b>Maximum</b>		
VA Time Per Entity	112.95	(Correlated)	41.3571	289.31		
Total Time Per Entity	335.04	182,025	41.3571	3,993.58		
Wait Time Per Entity	222.09	178,574	0	3,857.07		
<b>Accumulated Time</b>	<b>Value</b>					
Accum VA Time	53,310.34					
Accum Wait Time	104,828.74					
<b>Other</b>	<b>Value</b>					
Number In	472					
Number Out	472					
<b>URS2</b>						
<b>Time per Entity</b>	<b>Average</b>	<b>Half Width</b>	<b>Minimum</b>	<b>Maximum</b>		
Total Time Per Entity	280.12	124,216	34.3318	2,684.50		
Wait Time Per Entity	169.41	121,321	0	2,533.48		
VA Time Per Entity	110.70	5,18699	34.3318	248.90		
<b>Accumulated Time</b>	<b>Value</b>					
Accum Wait Time	79,116.49					
Accum VA Time	51,699.10					
<b>Other</b>	<b>Value</b>					
Number In	467					
Number Out	467					

Figura 70 - Resultados da simulação PFA a Urdir na URS1 e URS2.

Resultados da simulação na operação Urdir da Urdideira S7 e S8.

23:39:54		Processes			Março 8, 2011	
<b>Unnamed Project</b>				Replications: 1		
<b>Replication 1</b>		Start Time:	0,00	Stop Time:	79.137,71	Time Units: Minutes
<b>URS7</b>						
<u>Time per Entity</u>		<u>Average</u>	<u>Half Width</u>	<u>Minimum</u>	<u>Maximum</u>	
VA Time Per Entity		111.96	4,57893	45.4258	361.75	
Wait Time Per Entity		90.5298	(Correlated)	0	1,399.27	
Total Time Per Entity		202.49	(Correlated)	52.1177	1,663.03	
<u>Accumulated Time</u>		<u>Value</u>				
Accum VA Time		47,023.15				
Accum Wait Time		38,022.53				
<u>Other</u>		<u>Value</u>				
Number In		420				
Number Out		420				
<b>URS8</b>						
<u>Time per Entity</u>		<u>Average</u>	<u>Half Width</u>	<u>Minimum</u>	<u>Maximum</u>	
VA Time Per Entity		114.42	(Correlated)	40.7666	358.05	
Wait Time Per Entity		114.23	(Correlated)	0	1,411.97	
Total Time Per Entity		228.66	(Correlated)	50.8614	1,564.95	
<u>Accumulated Time</u>		<u>Value</u>				
Accum VA Time		49,317.05				
Accum Wait Time		49,234.92				
<u>Other</u>		<u>Value</u>				
Number In		431				
Number Out		431				

Figura 71 - Resultados da simulação PFA a Urdir na URS7 e URS8.

## SPT – Shortest Processing Time

Resultados da simulação na operação carregar na Esquinadeira A da Urdideira S1 e S2.

18:20:15		Processes			Março 26, 2011	
<b>Unnamed Project</b>				Replications: 1		
<b>Replication 1</b>		Start Time:	0,00	Stop Time:	86.563,17	Time Units: Minutes
<b>carr_ESQAS1</b>						
<b>Time per Entity</b>	<b>Average</b>	<b>Half Width</b>	<b>Minimum</b>	<b>Maximum</b>		
Wait Time Per Entity	6.4165	(Insufficient)	0	205.77		
VA Time Per Entity	142.86	(Insufficient)	16.2660	507.08		
Total Time Per Entity	149.28	(Insufficient)	18.7854	577.28		
<b>Accumulated Time</b>	<b>Value</b>					
Accum Wait Time	1,437.29					
Accum VA Time	32,000.79					
<b>Other</b>	<b>Value</b>					
Number Out	224					
Number In	224					
<b>Carr_ESQAS2</b>						
<b>Time per Entity</b>	<b>Average</b>	<b>Half Width</b>	<b>Minimum</b>	<b>Maximum</b>		
Wait Time Per Entity	6.0736	(Insufficient)	0	266.44		
VA Time Per Entity	140.81	(Insufficient)	14.5425	433.84		
Total Time Per Entity	146.89	(Insufficient)	14.5425	493.15		
<b>Accumulated Time</b>	<b>Value</b>					
Accum VA Time	31,542.07					
Accum Wait Time	1,360.48					
<b>Other</b>	<b>Value</b>					
Number Out	224					
Number In	224					

Figura 72 - Resultados da simulação SPT a carregar na Esq. A da URS1 e URS2

Resultados da simulação na operação carregar na Esquinadeira A da Urdideira S7 e S8.

18:20:15		Processes			Março 26, 2011	
<b>Unnamed Project</b>				Replications: 1		
<b>Replication 1</b>		Start Time:	0,00	Stop Time:	86.563,17	Time Units: Minutes
<b>Carr_ESQAS7</b>						
Time per Entity		Average	Half Width	Minimum	Maximum	
Wait Time Per Entity		12.0519	(Insufficient)	0	243.64	
VA Time Per Entity		133.53	(Insufficient)	19.7261	417.70	
Total Time Per Entity		145.58	(Insufficient)	19.7261	417.70	
Accumulated Time		Value				
Accum VA Time		29,910.99				
Accum Wait Time		2,699.62				
Other		Value				
Number Out		224				
Number In		224				
<b>Carr_ESQAS8</b>						
Time per Entity		Average	Half Width	Minimum	Maximum	
Wait Time Per Entity		6.6690	(Insufficient)	0	227.57	
VA Time Per Entity		129.42	(Insufficient)	25.2725	306.53	
Total Time Per Entity		136.09	(Insufficient)	25.2725	306.53	
Accumulated Time		Value				
Accum Wait Time		1,487.20				
Accum VA Time		28,860.29				
Other		Value				
Number In		223				
Number Out		223				

Figura 73 - Resultados da simulação SPT a carregar na Esq. A da URS7 e URS8

Resultados da simulação na operação carregar na Esquinadeira B da Urdideira S1 e S2.

Unnamed Project		Replications: 1				
Replication 1	Start Time:	0,00	Stop Time:	86.563,17	Time Units:	Minutes
<b>Carr_ESQBS1</b>						
<b>Time per Entity</b>	<b>Average</b>	<b>Half Width</b>	<b>Minimum</b>	<b>Maximum</b>		
VA Time Per Entity	133.02	(Insufficient)	9.9843	349.34		
Total Time Per Entity	138.56	(Insufficient)	9.9843	398.34		
Wait Time Per Entity	5.5449	(Insufficient)	0	173.54		
<b>Accumulated Time</b>	<b>Value</b>					
Accum VA Time	29,796.08					
Accum Wait Time	1,242.07					
<b>Other</b>	<b>Value</b>					
Number In	224					
Number Out	224					
<b>Carr_ESQBS2</b>						
<b>Time per Entity</b>	<b>Average</b>	<b>Half Width</b>	<b>Minimum</b>	<b>Maximum</b>		
Total Time Per Entity	143.93	(Insufficient)	26.5046	381.62		
Wait Time Per Entity	3.8489	(Insufficient)	0	144.72		
VA Time Per Entity	140.08	(Insufficient)	26.5046	313.70		
<b>Accumulated Time</b>	<b>Value</b>					
Accum VA Time	31,377.05					
Accum Wait Time	862.15					
<b>Other</b>	<b>Value</b>					
Number In	224					
Number Out	224					

Figura 74 - Resultados da simulação SPT a carregar na Esq. B da URS1 e URS2

Resultados da simulação na operação carregar na Esquinadeira B da Urdideira S7 e S8.

18:20:15		Processes			Março 26, 2011	
<b>Unnamed Project</b>				Replications: 1		
<b>Replication 1</b>		Start Time:	0,00	Stop Time:	86.563,17	Time Units: Minutes
<b>Carr_ESQBS7</b>						
<b>Time per Entity</b>		Average	Half Width	Minimum	Maximum	
Wait Time Per Entity		7.8265	(Insufficient)	0	243.94	
Total Time Per Entity		151.98	(Insufficient)	24.0482	714.83	
VA Time Per Entity		144.15	(Insufficient)	24.0482	714.83	
<b>Accumulated Time</b>		Value				
Accum VA Time		32,290.02				
Accum Wait Time		1,753.13				
<b>Other</b>		Value				
Number Out		224				
Number In		224				
<b>Carr_ESQBS8</b>						
<b>Time per Entity</b>		Average	Half Width	Minimum	Maximum	
Total Time Per Entity		139.38	(Insufficient)	37.8060	347.92	
Wait Time Per Entity		7.3122	(Insufficient)	0	215.75	
VA Time Per Entity		132.07	(Insufficient)	29.1179	272.62	
<b>Accumulated Time</b>		Value				
Accum VA Time		29,450.78				
Accum Wait Time		1,630.61				
<b>Other</b>		Value				
Number In		223				
Number Out		223				

Figura 75 - Resultados da simulação SPT a carregar na Esq. B da URS7 e URS8

Resultados da simulação na operação descarregar na Esquinadeira A da Urdideira S1 e S2.

Unnamed Project		Replications: 1					
<b>Replication 1</b>		Start Time:	0,00	Stop Time:	86.563,17	Time Units:	Minutes
Desc_ESQAS1							
Time per Entity		Average	Half Width	Minimum	Maximum		
Wait Time Per Entity		65.6258	(Insufficient)	0	277.14		
VA Time Per Entity		44.8863	(Insufficient)	4.5987	189.66		
Total Time Per Entity		110.51	(Insufficient)	4.5987	363.98		
Accumulated Time		Value					
Accum Wait Time		14,700.18					
Accum VA Time		10,054.53					
Other		Value					
Number Out		224					
Number In		224					
Desc_ESQAS2							
Time per Entity		Average	Half Width	Minimum	Maximum		
Wait Time Per Entity		73.2565	(Insufficient)	0	266.72		
Total Time Per Entity		116.98	(Insufficient)	7.4731	319.35		
VA Time Per Entity		43.7248	(Insufficient)	7.4731	189.41		
Accumulated Time		Value					
Accum Wait Time		16,409.46					
Accum VA Time		9,794.36					
Other		Value					
Number Out		224					
Number In		224					

Figura 76 - Resultados da simulação SPT a descarregar na Esq. A da URS1 e URS2

Resultados da simulação na operação descarregar na Esquinadeira A da Urdideira S7 e S8.

18:20:15		Processes			Março 26, 2011	
<b>Unnamed Project</b>				Replications: 1		
<b>Replication 1</b>		Start Time:	0,00	Stop Time:	86.563,17	Time Units: Minutes
Desc_ESQAS7						
<u>Time per Entity</u>		<u>Average</u>	<u>Half Width</u>	<u>Minimum</u>	<u>Maximum</u>	
Wait Time Per Entity	69.9028	(Insufficient)	0	589.95		
Total Time Per Entity	111.34	(Insufficient)	4.9872	648.81		
VA Time Per Entity	41.4361	(Insufficient)	4.9872	116.90		
<u>Accumulated Time</u>		<u>Value</u>				
Accum VA Time	9,281.69					
Accum Wait Time	15,658.22					
<u>Other</u>		<u>Value</u>				
Number Out	224					
Number In	224					
Desc_ESQAS8						
<u>Time per Entity</u>		<u>Average</u>	<u>Half Width</u>	<u>Minimum</u>	<u>Maximum</u>	
VA Time Per Entity	43.2627	(Insufficient)	6.8335	122.81		
Wait Time Per Entity	64.0459	(Insufficient)	0	223.73		
Total Time Per Entity	107.31	(Insufficient)	6.8335	308.04		
<u>Accumulated Time</u>		<u>Value</u>				
Accum VA Time	9,647.57					
Accum Wait Time	14,282.24					
<u>Other</u>		<u>Value</u>				
Number In	223					
Number Out	223					

Figura 77 - Resultados da simulação SPT a descarregar na Esq. A da URS7 e URS8

Resultados da simulação na operação descarregar na Esquinadeira B da Urdideira S1 e S2.

18:20:15		Processes			Março 26, 2011	
<b>Unnamed Project</b>				Replications: 1		
<b>Replication 1</b>		Start Time:	0,00	Stop Time:	86.563,17	Time Units: Minutes
<b>Desc_ESQBS1</b>						
<b>Time per Entity</b>		<b>Average</b>	<b>Half Width</b>	<b>Minimum</b>	<b>Maximum</b>	
VA Time Per Entity		43.6041	(Insufficient)	4.2937	101.07	
Wait Time Per Entity		71.0064	(Insufficient)	0	395.18	
Total Time Per Entity		114.61	(Insufficient)	4.2937	473.91	
<b>Accumulated Time</b>		<b>Value</b>				
Accum VA Time		9,767.31				
Accum Wait Time		15,905.43				
<b>Other</b>		<b>Value</b>				
Number In		224				
Number Out		224				
<b>Desc_ESQBS2</b>						
<b>Time per Entity</b>		<b>Average</b>	<b>Half Width</b>	<b>Minimum</b>	<b>Maximum</b>	
Total Time Per Entity		114.93	(Insufficient)	8.5907	435.96	
VA Time Per Entity		43.4774	(Insufficient)	8.5907	151.10	
Wait Time Per Entity		71.4483	(Insufficient)	0	342.24	
<b>Accumulated Time</b>		<b>Value</b>				
Accum VA Time		9,738.95				
Accum Wait Time		16,004.41				
<b>Other</b>		<b>Value</b>				
Number In		224				
Number Out		224				

Figura 78 - Resultados da simulação a descarregar na Esq. B da URS1 e URS2

Resultados da simulação na operação descarregar na Esquinadeira B da Urdideira S7 e S8.

18:20:15		Processes			Março 26, 2011	
<b>Unnamed Project</b>				Replications: 1		
<b>Replication 1</b>		Start Time:	0,00	Stop Time:	86.563,17	Time Units: Minutes
Desc_ESQBS7						
<u>Time per Entity</u>		<u>Average</u>	<u>Half Width</u>	<u>Minimum</u>	<u>Maximum</u>	
Wait Time Per Entity	60.9666	(Insufficient)	0	387.65		
Total Time Per Entity	105.34	(Insufficient)	10.2325	445.71		
VA Time Per Entity	44.3714	(Insufficient)	4.8008	189.83		
<u>Accumulated Time</u>		<u>Value</u>				
Accum VA Time	9,939.18					
Accum Wait Time	13,656.52					
<u>Other</u>		<u>Value</u>				
Number In	224					
Number Out	224					
Desc_ESQBS8						
<u>Time per Entity</u>		<u>Average</u>	<u>Half Width</u>	<u>Minimum</u>	<u>Maximum</u>	
Total Time Per Entity	102.28	(Insufficient)	7.4175	275.83		
Wait Time Per Entity	59.2672	(Insufficient)	0	238.93		
VA Time Per Entity	43.0135	(Insufficient)	6.4453	101.06		
<u>Accumulated Time</u>		<u>Value</u>				
Accum Wait Time	13,216.58					
Accum VA Time	9,592.01					
<u>Other</u>		<u>Value</u>				
Number In	223					
Number Out	223					

Figura 79 - Resultados da simulação SPT a descarregar na Esq. B da URS7 e URS8

Resultados da simulação na operação Urdir da Urdideira S1 e S2.

18:20:15		Processes			Março 26, 2011	
<b>Unnamed Project</b>				Replications: 1		
<b>Replication 1</b>		Start Time:	0,00	Stop Time:	86.563,17	Time Units: Minutes
<b>URS1</b>						
<b>Time per Entity</b>		<b>Average</b>	<b>Half Width</b>	<b>Minimum</b>	<b>Maximum</b>	
Wait Time Per Entity		4.3167	(Correlated)	0	122.40	
VA Time Per Entity		115.38	(Correlated)	27.2057	318.22	
Total Time Per Entity		119.69	(Correlated)	27.2057	329.08	
<b>Accumulated Time</b>		<b>Value</b>				
Accum Wait Time		1,933.89				
Accum VA Time		51,689.09				
<b>Other</b>		<b>Value</b>				
Number In		448				
Number Out		448				
<b>URS2</b>						
<b>Time per Entity</b>		<b>Average</b>	<b>Half Width</b>	<b>Minimum</b>	<b>Maximum</b>	
Wait Time Per Entity		4.0557	(Correlated)	0	118.60	
Total Time Per Entity		119.23	(Correlated)	40.9827	378.29	
VA Time Per Entity		115.18	(Correlated)	40.9827	294.64	
<b>Accumulated Time</b>		<b>Value</b>				
Accum Wait Time		1,816.96				
Accum VA Time		51,600.15				
<b>Other</b>		<b>Value</b>				
Number In		448				
Number Out		448				

Figura 80 - Resultados da simulação SPT a Urdir na URS1 e URS2

Resultados da simulação na operação Urdir da Urdideira S7 e S8.

18:20:15		Processes			Março 26, 2011	
<b>Unnamed Project</b>				Replications: 1		
<b>Replication 1</b>		Start Time:	0,00	Stop Time:	86.563,17	Time Units: Minutes
<b>URS7</b>						
<b>Time per Entity</b>		<b>Average</b>	<b>Half Width</b>	<b>Minimum</b>	<b>Maximum</b>	
Wait Time Per Entity		5.1647	2,11748	0	123.14	
Total Time Per Entity		121.34	(Correlated)	46.5661	332.13	
VA Time Per Entity		116.17	(Correlated)	46.5661	329.65	
<b>Accumulated Time</b>		<b>Value</b>				
Accum Wait Time		2,313.77				
Accum VA Time		52,045.15				
<b>Other</b>		<b>Value</b>				
Number In		448				
Number Out		448				
<b>URS8</b>						
<b>Time per Entity</b>		<b>Average</b>	<b>Half Width</b>	<b>Minimum</b>	<b>Maximum</b>	
VA Time Per Entity		115.13	(Correlated)	38.1775	292.02	
Total Time Per Entity		120.20	(Correlated)	38.1775	409.20	
Wait Time Per Entity		5.0667	1,59756	0	150.85	
<b>Accumulated Time</b>		<b>Value</b>				
Accum VA Time		51,348.25				
Accum Wait Time		2,259.73				
<b>Other</b>		<b>Value</b>				
Number Out		446				
Number In		446				

Figura 81 - Resultados da simulação SPT a Urdir da URS7 e URS8

## DEM – Data de entrega mínima

Resultados da simulação na operação carregar na Esquinadeira A da Urdideira S1 e S2.

0:11:34		Processes			Março 27, 2011	
<b>Unnamed Project</b>				Replications: 1		
<b>Replication 1</b>		Start Time:	0,00	Stop Time:	87.945,99	Time Units: Minutes
<b>carr_ESQAS1</b>						
<u>Time per Entity</u>		<u>Average</u>	<u>Half Width</u>	<u>Minimum</u>	<u>Maximum</u>	
Wait Time Per Entity		4.1632	(Insufficient)	0	161.08	
VA Time Per Entity		133.32	(Insufficient)	21.3227	507.89	
Total Time Per Entity		137.49	(Insufficient)	21.3227	507.89	
<u>Accumulated Time</u>		<u>Value</u>				
Accum Wait Time		932.56				
Accum VA Time		29,864.40				
<u>Other</u>		<u>Value</u>				
Number Out		224				
Number In		224				
<b>Carr_ESQAS2</b>						
<u>Time per Entity</u>		<u>Average</u>	<u>Half Width</u>	<u>Minimum</u>	<u>Maximum</u>	
Wait Time Per Entity		6.4720	(Insufficient)	0	173.99	
Total Time Per Entity		153.19	(Insufficient)	28.5590	514.58	
VA Time Per Entity		146.72	(Insufficient)	28.5590	514.58	
<u>Accumulated Time</u>		<u>Value</u>				
Accum Wait Time		1,449.72				
Accum VA Time		32,864.18				
<u>Other</u>		<u>Value</u>				
Number Out		224				
Number In		224				

Figura 82 - Resultados da simulação DEM a carregar na Esq. A da URS1 e URS2

Resultados da simulação na operação carregar na Esquinadeira A da Urdideira S7 e S8.

0:11:34		Processes			Março 27, 2011	
<b>Unnamed Project</b>				Replications: 1		
<b>Replication 1</b>		Start Time:	0,00	Stop Time:	87.945,99	Time Units: Minutes
<b>Carr_ESQAS7</b>						
Time per Entity		Average	Half Width	Minimum	Maximum	
Wait Time Per Entity		6.0980	(Insufficient)	0	255.29	
Total Time Per Entity		142.32	(Insufficient)	16.0502	476.19	
VA Time Per Entity		136.23	(Insufficient)	16.0502	476.19	
Accumulated Time		Value				
Accum Wait Time		1,365.94				
Accum VA Time		30,514.59				
Other		Value				
Number Out		224				
Number In		224				
<b>Carr_ESQAS8</b>						
Time per Entity		Average	Half Width	Minimum	Maximum	
VA Time Per Entity		137.30	(Insufficient)	26.4920	330.05	
Total Time Per Entity		144.81	(Insufficient)	26.4920	362.08	
Wait Time Per Entity		7.5172	(Insufficient)	0	265.53	
Accumulated Time		Value				
Accum Wait Time		1,676.34				
Accum VA Time		30,617.30				
Other		Value				
Number In		223				
Number Out		223				

Figura 83 - Resultados da simulação DEM a carregar na Esq. A da URS7 e URS8

Resultados da simulação na operação carregar na Esquinadeira B da Urdideira S1 e S2.

0:11:34		Processes			Março 27, 2011	
<b>Unnamed Project</b>				Replications: 1		
<b>Replication 1</b>		Start Time:	0,00	Stop Time:	87.945,99	Time Units: Minutes
<b>Carr_ESQBS1</b>						
<b>Time per Entity</b>		Average	Half Width	Minimum	Maximum	
Total Time Per Entity		137.02	(Insufficient)	23.7885	529.44	
Wait Time Per Entity		5.2199	(Insufficient)	0	199.66	
VA Time Per Entity		131.80	(Insufficient)	23.7885	529.44	
<b>Accumulated Time</b>		Value				
Accum Wait Time		1,169.26				
Accum VA Time		29,523.97				
<b>Other</b>		Value				
Number Out		224				
Number In		224				
<b>Carr_ESQBS2</b>						
<b>Time per Entity</b>		Average	Half Width	Minimum	Maximum	
VA Time Per Entity		136.35	(Insufficient)	28.0187	338.34	
Wait Time Per Entity		9.0887	(Insufficient)	0	203.16	
Total Time Per Entity		145.43	(Insufficient)	28.0187	429.31	
<b>Accumulated Time</b>		Value				
Accum VA Time		30,541.45				
Accum Wait Time		2,035.87				
<b>Other</b>		Value				
Number Out		224				
Number In		224				

Figura 84 - Resultados da simulação DEM a carregar na Esq. B da URS1 e URS2

Resultados da simulação na operação carregar na Esquinadeira B da Urdideira S7 e S8.

0:11:34		Processes			Março 27, 2011	
<b>Unnamed Project</b>				Replications: 1		
<b>Replication 1</b>		Start Time:	0,00	Stop Time:	87.945,99	Time Units: Minutes
<b>Carr_ESQBS7</b>						
<b>Time per Entity</b>	<b>Average</b>	<b>Half Width</b>	<b>Minimum</b>	<b>Maximum</b>		
Total Time Per Entity	151.67	(Insufficient)	7.6584	507.85		
VA Time Per Entity	142.33	(Insufficient)	7.6584	490.56		
Wait Time Per Entity	9.3341	(Insufficient)	0	230.95		
<b>Accumulated Time</b>	<b>Value</b>					
Accum VA Time	31,882.60					
Accum Wait Time	2,090.84					
<b>Other</b>	<b>Value</b>					
Number Out	224					
Number In	224					
<b>Carr_ESQBS8</b>						
<b>Time per Entity</b>	<b>Average</b>	<b>Half Width</b>	<b>Minimum</b>	<b>Maximum</b>		
Total Time Per Entity	149.20	(Insufficient)	24.4318	338.69		
Wait Time Per Entity	7.3841	(Insufficient)	0	198.28		
VA Time Per Entity	141.82	(Insufficient)	24.4318	313.99		
<b>Accumulated Time</b>	<b>Value</b>					
Accum Wait Time	1,646.66					
Accum VA Time	31,625.35					
<b>Other</b>	<b>Value</b>					
Number In	223					
Number Out	223					

Figura 85 - Resultados da simulação DEM a carregar na Esq. B da URS7 e URS8

Resultados da simulação na operação descarregar na Esquinadeira B da Urdideira S7 e S8.

0:11:34 **Processes** Março 27, 2011

---

**Unnamed Project** Replications: 1

---

**Replication 1** Start Time: 0,00 Stop Time: 87.945,99 Time Units: Minutes

---

Desc\_ESQAS1

Time per Entity	Average	Half Width	Minimum	Maximum
Total Time Per Entity	105.91	(Insufficient)	7.5875	487.69
VA Time Per Entity	41.6647	(Insufficient)	7.5875	203.91
Wait Time Per Entity	64.2422	(Insufficient)	0	471.63
<b>Accumulated Time</b>		<b>Value</b>		
Accum Wait Time	14,390.26			
Accum VA Time	9,332.89			
<b>Other</b>		<b>Value</b>		
Number In	224			
Number Out	224			

---

Desc\_ESQAS2

Time per Entity	Average	Half Width	Minimum	Maximum
Wait Time Per Entity	67.8935	(Insufficient)	0	280.37
Total Time Per Entity	112.78	(Insufficient)	7.1416	316.31
VA Time Per Entity	44.8840	(Insufficient)	4.7376	159.72
<b>Accumulated Time</b>		<b>Value</b>		
Accum VA Time	10,054.01			
Accum Wait Time	15,208.14			
<b>Other</b>		<b>Value</b>		
Number In	224			
Number Out	224			

Figura 86 - Resultados da simulação DEM a descarregar na Esq. B da URS7 e URS8

Resultados da simulação na operação descarregar na Esquinadeira B da Urdideira S7 e S8.

0:11:34		Processes			Março 27, 2011	
<b>Unnamed Project</b>				Replications: 1		
<b>Replication 1</b>		Start Time:	0,00	Stop Time:	87.945,99	Time Units: Minutes
<b>Desc_ESQAS7</b>						
Time per Entity		Average	Half Width	Minimum	Maximum	
Total Time Per Entity		120.92	(Insufficient)	7.1390	516.58	
Wait Time Per Entity		76.9676	(Insufficient)	0	453.87	
VA Time Per Entity		43.9501	(Insufficient)	3.7307	193.46	
Accumulated Time		Value				
Accum Wait Time		17,240.74				
Accum VA Time		9,844.82				
Other		Value				
Number In		224				
Number Out		224				
<b>Desc_ESQAS8</b>						
Time per Entity		Average	Half Width	Minimum	Maximum	
Total Time Per Entity		116.71	(Insufficient)	10.2691	311.82	
Wait Time Per Entity		72.2122	(Insufficient)	0	261.00	
VA Time Per Entity		44.5022	(Insufficient)	5.6140	121.50	
Accumulated Time		Value				
Accum VA Time		9,923.98				
Accum Wait Time		16,103.32				
Other		Value				
Number In		223				
Number Out		223				

Figura 87 - Resultados da simulação DEM a descarregar na Esq. B da URS7 e URS8

Resultados da simulação na operação descarregar na Esquinadeira B da Urdideira S1 e S2.

0:11:34		Processes		Março 27, 2011	
<b>Unnamed Project</b>			Replications: 1		
<b>Replication 1</b>		Start Time:	0,00	Stop Time:	87.945,99
		Time Units: Minutes			
<b>Desc_ESQBS1</b>					
<b>Time per Entity</b>		<b>Average</b>	<b>Half Width</b>	<b>Minimum</b>	<b>Maximum</b>
Wait Time Per Entity		63.0945	(Insufficient)	0	445.75
Total Time Per Entity		105.83	(Insufficient)	7.0805	522.41
VA Time Per Entity		42.7342	(Insufficient)	6.5888	155.74
<b>Accumulated Time</b>		<b>Value</b>			
Accum Wait Time		14,133.18			
Accum VA Time		9,572.45			
<b>Other</b>		<b>Value</b>			
Number In		224			
Number Out		224			
<b>Desc_ESQBS2</b>					
<b>Time per Entity</b>		<b>Average</b>	<b>Half Width</b>	<b>Minimum</b>	<b>Maximum</b>
Wait Time Per Entity		76.2929	(Insufficient)	0	465.63
VA Time Per Entity		43.5575	(Insufficient)	4.1116	110.03
Total Time Per Entity		119.85	(Insufficient)	10.0798	541.39
<b>Accumulated Time</b>		<b>Value</b>			
Accum Wait Time		17,089.61			
Accum VA Time		9,756.89			
<b>Other</b>		<b>Value</b>			
Number Out		224			
Number In		224			

Figura 88 - Resultados da simulação DEM a descarregar na Esq. B da URS1 e URS2

Resultados da simulação na operação descarregar na Esquinadeira B da Urdideira S7 e S8.

0:11:34		Processes			Março 27, 2011	
<b>Unnamed Project</b>				Replications: 1		
<b>Replication 1</b>		Start Time:	0,00	Stop Time:	87.945,99	Time Units: Minutes
<b>Desc_ESQBS7</b>						
<b>Time per Entity</b>		<b>Average</b>	<b>Half Width</b>	<b>Minimum</b>	<b>Maximum</b>	
Total Time Per Entity		112.95	(Insufficient)	6.3950	428.36	
Wait Time Per Entity		69.5148	(Insufficient)	0	349.01	
VA Time Per Entity		43.4333	(Insufficient)	3.7114	125.59	
<b>Accumulated Time</b>		<b>Value</b>				
Accum Wait Time		15,571.32				
Accum VA Time		9,729.05				
<b>Other</b>		<b>Value</b>				
Number In		224				
Number Out		224				
<b>Desc_ESQBS8</b>						
<b>Time per Entity</b>		<b>Average</b>	<b>Half Width</b>	<b>Minimum</b>	<b>Maximum</b>	
Total Time Per Entity		113.75	(Insufficient)	12.2347	302.29	
Wait Time Per Entity		71.5302	(Insufficient)	0	268.36	
VA Time Per Entity		42.2223	(Insufficient)	9.0397	108.18	
<b>Accumulated Time</b>		<b>Value</b>				
Accum Wait Time		15,951.24				
Accum VA Time		9,415.56				
<b>Other</b>		<b>Value</b>				
Number In		223				
Number Out		223				

Figura 89 - Resultados da simulação DEM a descarregar na Esq. B da URS7 e URS8

Resultados da simulação na operação Urdir da Urdideira S1 e S2.

0:11:34		Processes			Março 27, 2011	
<b>Unnamed Project</b>				Replications: 1		
<b>Replication 1</b>		Start Time:	0,00	Stop Time:	87.945,99	Time Units: Minutes
<b>URS1</b>						
<b>Time per Entity</b>		<b>Average</b>	<b>Half Width</b>	<b>Minimum</b>	<b>Maximum</b>	
Wait Time Per Entity		7.0136	2,41505	0	188.98	
Total Time Per Entity		125.12	(Correlated)	36.7485	288.70	
VA Time Per Entity		118.11	(Correlated)	36.7485	288.70	
<b>Accumulated Time</b>		<b>Value</b>				
Accum Wait Time		3,142.10				
Accum VA Time		52,911.23				
<b>Other</b>		<b>Value</b>				
Number In		448				
Number Out		448				
<b>URS2</b>						
<b>Time per Entity</b>		<b>Average</b>	<b>Half Width</b>	<b>Minimum</b>	<b>Maximum</b>	
Total Time Per Entity		121.00	5,89103	36.3944	256.21	
Wait Time Per Entity		5.4755	1,86140	0	141.60	
VA Time Per Entity		115.53	4,59282	36.3944	251.76	
<b>Accumulated Time</b>		<b>Value</b>				
Accum VA Time		51,756.58				
Accum Wait Time		2,453.02				
<b>Other</b>		<b>Value</b>				
Number In		448				
Number Out		448				

Figura 90 - Resultados da simulação DEM a Urdir na URS1 e URS2

Resultados da simulação na operação Urdir da Urdideira S7 e S8.

0:11:34		Processes			Março 27, 2011	
<b>Unnamed Project</b>				Replications: 1		
<b>Replication 1</b>		Start Time:	0,00	Stop Time:	87.945,99	Time Units: Minutes
<b>URS7</b>						
Time per Entity		Average	Half Width	Minimum	Maximum	
Total Time Per Entity		123.01	5,68247	47.6205	418.20	
VA Time Per Entity		114.64	3,92548	43.1166	387.10	
Wait Time Per Entity		8.3645	2,61418	0	259.88	
Accumulated Time		Value				
Accum VA Time		51,359.26				
Accum Wait Time		3,747.28				
Other		Value				
Number In		448				
Number Out		448				
<b>URS8</b>						
Time per Entity		Average	Half Width	Minimum	Maximum	
VA Time Per Entity		113.92	3,19746	48.8529	269.64	
Total Time Per Entity		119.85	4,45934	48.8529	288.45	
Wait Time Per Entity		5.9314	1,84026	0	133.62	
Accumulated Time		Value				
Accum Wait Time		2,645.42				
Accum VA Time		50,807.39				
Other		Value				
Number Out		446				
Number In		446				

Figura 91 - Resultados da simulação DEM a Urdir na URS7 e URS8

## NOP – Número de operações

Resultados da simulação na operação carregar na Esquinadeira A da Urdideira S1 e S2.

0:34:54		Processes			Março 27, 2011	
<b>Unnamed Project</b>				Replications: 1		
<b>Replication 1</b>		Start Time:	0,00	Stop Time:	89.239,08	Time Units: Minutes
<b>carr_ESQAS1</b>						
Time per Entity		Average	Half Width	Minimum	Maximum	
Wait Time Per Entity		9.4038	(Insufficient)	0	207.62	
VA Time Per Entity		136.05	(Insufficient)	17.3563	596.42	
Total Time Per Entity		145.45	(Insufficient)	17.3563	596.42	
Accumulated Time		Value				
Accum Wait Time		2,106.44				
Accum VA Time		30,474.62				
Other		Value				
Number Out		224				
Number In		224				
<b>Carr_ESQAS2</b>						
Time per Entity		Average	Half Width	Minimum	Maximum	
Total Time Per Entity		149.16	(Insufficient)	13.5179	468.39	
Wait Time Per Entity		10.0323	(Insufficient)	0	339.32	
VA Time Per Entity		139.13	(Insufficient)	13.5179	439.10	
Accumulated Time		Value				
Accum VA Time		31,164.81				
Accum Wait Time		2,247.23				
Other		Value				
Number In		224				
Number Out		224				

Figura 92 - Resultados da simulação NOP a carregar na Esq. A da URS1 e URS2

Resultados da simulação na operação carregar na Esquinadeira A da Urdideira S7 e S8.

0:34:54		Processes			Março 27, 2011	
<b>Unnamed Project</b>				Replications: 1		
<b>Replication 1</b>		Start Time:	0,00	Stop Time:	89.239,08	Time Units: Minutes
<b>Carr_ESQAS7</b>						
Time per Entity		Average	Half Width	Minimum	Maximum	
Wait Time Per Entity		10.2985	(Insufficient)	0	268.77	
VA Time Per Entity		137.51	(Insufficient)	23.9929	310.26	
Total Time Per Entity		147.81	(Insufficient)	23.9929	495.31	
Accumulated Time		Value				
Accum Wait Time		2,306.87				
Accum VA Time		30,802.62				
Other		Value				
Number In		224				
Number Out		224				
<b>Carr_ESQAS8</b>						
Time per Entity		Average	Half Width	Minimum	Maximum	
VA Time Per Entity		135.39	(Insufficient)	18.8542	380.91	
Total Time Per Entity		149.78	(Insufficient)	18.8542	645.47	
Wait Time Per Entity		14.3910	(Insufficient)	0	447.78	
Accumulated Time		Value				
Accum Wait Time		3,209.19				
Accum VA Time		30,190.98				
Other		Value				
Number Out		223				
Number In		223				

Figura 93 - Resultados da simulação NOP a carregar na Esq. A da URS7 e URS8

Resultados da simulação na operação carregar na Esquinadeira B da Urdideira S1 e S2.

0:34:54		Processes			Março 27, 2011	
<b>Unnamed Project</b>				Replications: 1		
<b>Replication 1</b>		Start Time:	0,00	Stop Time:	89.239,08	Time Units: Minutes
<b>Carr_ESQBS1</b>						
<u>Time per Entity</u>		<u>Average</u>	<u>Half Width</u>	<u>Minimum</u>	<u>Maximum</u>	
VA Time Per Entity		133.83	(Insufficient)	17.1450	320.57	
Wait Time Per Entity		9.4563	(Insufficient)	0	208.94	
Total Time Per Entity		143.29	(Insufficient)	17.1450	419.85	
<u>Accumulated Time</u>		<u>Value</u>				
Accum Wait Time		2,118.21				
Accum VA Time		29,978.44				
<u>Other</u>		<u>Value</u>				
Number Out		224				
Number In		224				
<b>Carr_ESQBS2</b>						
<u>Time per Entity</u>		<u>Average</u>	<u>Half Width</u>	<u>Minimum</u>	<u>Maximum</u>	
Total Time Per Entity		152.49	(Insufficient)	22.0906	690.07	
VA Time Per Entity		141.86	(Insufficient)	22.0906	641.72	
Wait Time Per Entity		10.6321	(Insufficient)	0	337.93	
<u>Accumulated Time</u>		<u>Value</u>				
Accum Wait Time		2,381.59				
Accum VA Time		31,776.00				
<u>Other</u>		<u>Value</u>				
Number In		224				
Number Out		224				

Figura 94 - Resultados da simulação NOP a carregar na Esq. B da URS1 e URS2

Resultados da simulação na operação carregar na Esquinadeira B da Urdideira S7 e S8.

0:34:54 **Processes** Março 27, 2011

**Unnamed Project** Replications: 1

**Replication 1** Start Time: 0,00 Stop Time: 89.239,08 Time Units: Minutes

**Carr\_ESQBS7**

Time per Entity	Average	Half Width	Minimum	Maximum
VA Time Per Entity	138.70	(Insufficient)	7.9061	335.48
Wait Time Per Entity	7.1629	(Insufficient)	0	169.39
Total Time Per Entity	145.86	(Insufficient)	7.9061	365.42

Accumulated Time	Value
Accum VA Time	31,069.04
Accum Wait Time	1,604.50

Other	Value
Number In	224
Number Out	224

**Carr\_ESQBS8**

Time per Entity	Average	Half Width	Minimum	Maximum
Total Time Per Entity	151.92	(Insufficient)	40.3959	558.38
Wait Time Per Entity	7.0971	(Insufficient)	0	228.04
VA Time Per Entity	144.83	(Insufficient)	33.2870	558.38

Accumulated Time	Value
Accum VA Time	32,296.53
Accum Wait Time	1,582.65

Other	Value
Number In	223
Number Out	223

Figura 95 - Resultados da simulação NOP a carregar na Esq. B da URS7 e URS8

Resultados da simulação na operação descarregar na Esquinadeira A da Urdideira S1 e S7.

0:34:54		Processes			Março 27, 2011	
<b>Unnamed Project</b>				Replications: 1		
<b>Replication 1</b>		Start Time:	0,00	Stop Time:	89.239,08	Time Units: Minutes
<b>Desc_ESQAS1</b>						
<u>Time per Entity</u>		<u>Average</u>	<u>Half Width</u>	<u>Minimum</u>	<u>Maximum</u>	
Wait Time Per Entity	67.2112	(Insufficient)	0	286.34		
Total Time Per Entity	110.82	(Insufficient)	12.3175	325.70		
VA Time Per Entity	43.6116	(Insufficient)	4.1224	126.12		
<u>Accumulated Time</u>		<u>Value</u>				
Accum VA Time	9,769.00					
Accum Wait Time	15,055.31					
<u>Other</u>		<u>Value</u>				
Number Out	224					
Number In	224					
<b>Desc_ESQAS2</b>						
<u>Time per Entity</u>		<u>Average</u>	<u>Half Width</u>	<u>Minimum</u>	<u>Maximum</u>	
Wait Time Per Entity	73.1666	(Insufficient)	0	581.41		
Total Time Per Entity	116.64	(Insufficient)	4.9608	597.74		
VA Time Per Entity	43.4723	(Insufficient)	4.9608	149.27		
<u>Accumulated Time</u>		<u>Value</u>				
Accum Wait Time	16,389.32					
Accum VA Time	9,737.80					
<u>Other</u>		<u>Value</u>				
Number Out	224					
Number In	224					

Figura 96 - Resultados da simulação NOP a descarregar na Esq. A da URS1 e URS7

Resultados da simulação na operação descarregar na Esquinadeira A da Urdideira S7 e S8.

0:34:54		Processes			Março 27, 2011	
<b>Unnamed Project</b>				Replications: 1		
<b>Replication 1</b>		Start Time:	0,00	Stop Time:	89.239,08	Time Units: Minutes
<b>Desc_ESQAS7</b>						
Time per Entity		Average	Half Width	Minimum	Maximum	
Wait Time Per Entity		71.0746	(Insufficient)	0	326.17	
Total Time Per Entity		114.04	(Insufficient)	8.5884	338.74	
VA Time Per Entity		42.9641	(Insufficient)	4.0397	124.37	
Accumulated Time		Value				
Accum Wait Time		15,920.70				
Accum VA Time		9,623.95				
Other		Value				
Number In		224				
Number Out		224				
<b>Desc_ESQAS8</b>						
Time per Entity		Average	Half Width	Minimum	Maximum	
Total Time Per Entity		112.38	(Insufficient)	9.1731	554.74	
Wait Time Per Entity		71.2613	(Insufficient)	0	510.99	
VA Time Per Entity		41.1232	(Insufficient)	7.2191	126.22	
Accumulated Time		Value				
Accum Wait Time		15,891.28				
Accum VA Time		9,170.46				
Other		Value				
Number Out		223				
Number In		223				

Figura 97 - Resultados da simulação NOP a descarregar na Esq. A da URS7 e URS8

Resultados da simulação na operação descarregar na Esquinadeira B da Urdideira S1 e S2.

0:34:54		Processes			Março 27, 2011	
<b>Unnamed Project</b>				Replications: 1		
<b>Replication 1</b>		Start Time:	0,00	Stop Time:	89.239,08	Time Units: Minutes
<b>Desc_ESQBS1</b>						
Time per Entity		Average	Half Width	Minimum	Maximum	
Total Time Per Entity		109.48	(Insufficient)	10.0485	726.18	
Wait Time Per Entity		65.2549	(Insufficient)	0	576.39	
VA Time Per Entity		44.2294	(Insufficient)	4.5715	149.80	
Accumulated Time		Value				
Accum VA Time		9,907.39				
Accum Wait Time		14,617.09				
Other		Value				
Number In		224				
Number Out		224				
<b>Desc_ESQBS2</b>						
Time per Entity		Average	Half Width	Minimum	Maximum	
Wait Time Per Entity		70.3780	(Insufficient)	0	391.76	
Total Time Per Entity		114.08	(Insufficient)	7.7616	433.61	
VA Time Per Entity		43.7039	(Insufficient)	5.7013	96.9286	
Accumulated Time		Value				
Accum Wait Time		15,764.66				
Accum VA Time		9,789.68				
Other		Value				
Number Out		224				
Number In		224				

Figura 98 - Resultados da simulação NOP a descarregar na Esq. B da URS1 e URS2

Resultados da simulação na operação descarregar na Esquinadeira B da Urdideira S7 e S8.

0:34:54		Processes			Março 27, 2011	
<b>Unnamed Project</b>				Replications: 1		
<b>Replication 1</b>		Start Time:	0,00	Stop Time:	89.239,08	Time Units: Minutes
<b>Desc_ESQBS7</b>						
<u>Time per Entity</u>	<u>Average</u>	<u>Half Width</u>	<u>Minimum</u>	<u>Maximum</u>		
Total Time Per Entity	110.72	(Insufficient)	3.7156	320.93		
VA Time Per Entity	42.1129	(Insufficient)	3.7156	123.03		
Wait Time Per Entity	68.6111	(Insufficient)	0	268.90		
<u>Accumulated Time</u>	<u>Value</u>					
Accum VA Time	9,433.28					
Accum Wait Time	15,368.89					
<u>Other</u>	<u>Value</u>					
Number In	224					
Number Out	224					
<b>Desc_ESQBS8</b>						
<u>Time per Entity</u>	<u>Average</u>	<u>Half Width</u>	<u>Minimum</u>	<u>Maximum</u>		
VA Time Per Entity	45.5043	(Insufficient)	8.6416	218.50		
Total Time Per Entity	109.82	(Insufficient)	10.9370	403.67		
Wait Time Per Entity	64.3151	(Insufficient)	0	351.25		
<u>Accumulated Time</u>	<u>Value</u>					
Accum Wait Time	14,342.27					
Accum VA Time	10,147.45					
<u>Other</u>	<u>Value</u>					
Number In	223					
Number Out	223					

Figura 99 - Resultados da simulação NOP a descarregar na Esq. B da URS7 e URS8

Resultados da simulação na operação Urdir da Urdideira S1 e S2.

0:34:54		Processes			Março 27, 2011	
<b>Unnamed Project</b>				Replications: 1		
<b>Replication 1</b>		Start Time:	0,00	Stop Time:	89.239,08	Time Units: Minutes
<b>URS1</b>						
<u>Time per Entity</u>	<u>Average</u>	<u>Half Width</u>	<u>Minimum</u>	<u>Maximum</u>		
Wait Time Per Entity	7.3027	(Correlated)	0	155.13		
VA Time Per Entity	114.95	(Correlated)	31.3844	298.42		
Total Time Per Entity	122.26	(Correlated)	31.3844	320.64		
<u>Accumulated Time</u>	<u>Value</u>					
Accum Wait Time	3,271.63					
Accum VA Time	51,499.82					
<u>Other</u>	<u>Value</u>					
Number In	448					
Number Out	448					
<b>URS2</b>						
<u>Time per Entity</u>	<u>Average</u>	<u>Half Width</u>	<u>Minimum</u>	<u>Maximum</u>		
Total Time Per Entity	126.49	(Correlated)	41.8600	425.87		
Wait Time Per Entity	9.9591	(Correlated)	0	192.98		
VA Time Per Entity	116.53	(Correlated)	41.8600	309.19		
<u>Accumulated Time</u>	<u>Value</u>					
Accum VA Time	52,205.29					
Accum Wait Time	4,461.66					
<u>Other</u>	<u>Value</u>					
Number Out	448					
Number In	448					

Figura 100 - Resultados da simulação NOP a Urdir na URS1 e URS2

Resultados da simulação na operação Urdir da Urdideira S7 e S8.

0:34:54		Processes			Março 27, 2011	
<b>Unnamed Project</b>				Replications: 1		
<b>Replication 1</b>		Start Time:	0,00	Stop Time:	89.239,08	Time Units: Minutes
<b>URS7</b>						
Time per Entity		Average	Half Width	Minimum	Maximum	
Total Time Per Entity		121.82	(Correlated)	45.8876	424.58	
Wait Time Per Entity		7.5848	(Correlated)	0	226.29	
VA Time Per Entity		114.23	(Correlated)	45.8876	270.59	
Accumulated Time		Value				
Accum Wait Time		3,398.01				
Accum VA Time		51,176.74				
Other		Value				
Number Out		448				
Number In		448				
<b>URS8</b>						
Time per Entity		Average	Half Width	Minimum	Maximum	
Total Time Per Entity		127.18	(Correlated)	49.6227	445.88	
VA Time Per Entity		118.18	(Correlated)	49.6227	279.44	
Wait Time Per Entity		8.9989	(Correlated)	0	203.39	
Accumulated Time		Value				
Accum VA Time		52,708.30				
Accum Wait Time		4,013.52				
Other		Value				
Number Out		446				
Number In		446				

Figura 101 - Resultados da simulação NOP a Urdir na URS7 e URS8