



FCTUC FACULDADE DE CIÊNCIAS
E TECNOLOGIA
UNIVERSIDADE DE COIMBRA

DEPARTAMENTO DE
ENGENHARIA MECÂNICA

Análise e Propostas de Melhoria do Processo de Fabrico da Empresa Simoldes Plásticos

Dissertação apresentada para a obtenção do grau de Mestre em Engenharia
Mecânica na Especialidade de Energia e Ambiente

Autor

Bruno Ribeiro

Orientadores

Professor Doutor Cristóvão Silva

Professor Doutor Germano Veiga

Júri

Presidente Professor Doutor Marta Cristina Cardoso de Oliveira
Professor Auxiliar da Universidade de Coimbra

Vogais Professor Doutor Cristóvão Silva
Professor Auxiliar da Universidade de Coimbra

Professor Doutor Germano Manuel Correia dos Santos
Veiga
Professor Auxiliar Convidado da Universidade de Coimbra

Professor Doutor José Luís Ferreira Afonso
Professor Auxiliar da Universidade de Coimbra

Colaboração Institucional



Grupo Simoldes, Divisão de Plásticos

Coimbra, Julho, 2011

“Aprender é a única coisa de que a mente nunca se cansa, nunca tem medo e
nunca se arrepende”

Leonardo da Vinci

Agradecimentos

O trabalho que aqui se apresenta só foi possível graças à colaboração e apoio de algumas pessoas, às quais não posso deixar de prestar o meu reconhecimento,

Ao Professor Doutor Cristóvão Silva,
Pela orientação, motivação e experiência que me transmitiu.

À minha família, em especial à minha Mãe,
Pelo apoio e orgulho demonstrado durante todo o meu percurso académico.

Aos meus amigos,
Pela sua presença, incentivo e todos os bons momentos vividos em sua
companhia.

À Simoldes, em especial ao Engenheiro João Amorim,
Pela oportunidade de vivenciar o ambiente empresarial, e por todo o apoio ao
longo do trabalho.

Resumo

O presente trabalho foi realizado na empresa Simoldes Plásticos, uma empresa que se dedica à produção de componentes plásticos para a indústria automóvel. O rápido crescimento da empresa, levou à tomada de conhecimento de que alguns dos seus *layouts* de produção poderão encontrar-se desadequados à flexibilidade de produção que descreve o mercado global dos nossos dias. O elevado nível de competitividade que caracteriza o mercado automóvel, obriga a uma melhoria contínua no sentido de diminuir custos operacionais, aumentando a rentabilidade do sistema à medida que a melhoria é implementada.

O objectivo deste trabalho é a análise dos produtos fabricados pela Simoldes e dos processos de produção associados, de modo a identificar as dificuldades e ou deficiências dos processos actuais e propor melhorias que poderão passar pela redefinição do *layout* fabril.

Na primeira fase do trabalho é efectuada uma análise pormenorizada de alguns processos tal como se encontram actualmente na empresa: descrição de operações, distâncias de transporte, tempos, quantidades. A segunda fase do trabalho, passa pela construção de modelos de simulação de modo a se testarem soluções alternativas ao processo, ou, a programação de algoritmos que distribuam operações de modo a maximizar a produtividade.

Os resultados obtidos pelo trabalho foram esclarecedores oferecendo informações como taxas de ocupação, custos de mão-de-obra e taxas de produção, que podem funcionar como elementos de decisão para a empresa. Os algoritmos programados permitem de uma forma fácil e rápida, otimizar linhas de produção.

Palavras-chave: Produção, *Layout*, Flexibilidade, Alternativas, Simulação, Algoritmo.

Abstract

This actual work was produced at the Simoldes Plásticos Corporation. The principal business area of the Simoldes Plásticos is the production of plastic components for the automotive industry. The company's rapid growth has led to the acknowledgement that some of their production layouts might be inadequate to the production flexibility that describes nowadays global market. The high level of competitiveness that characterizes the automotive market requires continuous improvement in order to reduce operating costs, increasing profitability of the system as the improvement is implemented.

The goal of this work is the analysis of the products manufactured by Simoldes and their production processes, in order to identify difficulties, and propose improvements that can pass by layout redefinitions.

In the first phase of this work, is produced a detailed analysis of some processes as they currently are carried out in the company: description of operations, transport distances, times, quantities. The second phase of work requires the construction of simulation in order to test alternative solutions for a process, or programing algorithms that distribute operations to maximize productivity.

The results obtained in this work can offer information as occupancy rates, labor costs and production rates, which can act as elements of decision for the company. The algorithms programed allow a quick and easy way to optimize production lines.

Keywords Production, Layout, Flexibility, Alternatives, Simulation, Algorithm

ÍNDICE

Índice de Figuras	v
Índice de Tabelas	vi
Siglas	vii
1. Introdução	1
1.1. Motivação	1
1.2. Ferramentas de apoio	1
1.3. Objectivos	2
1.4. Estrutura da Tese	3
2. Enquadramento teórico	4
2.1. Tempos e métodos	4
2.2. Simulação de operações	6
2.3. Equilibragem de linhas de montagem	9
3. Descrição Empresa	12
3.1. A Empresa	12
4. Análise Painel B9	14
4.1. O painel B9	14
4.2. Situação Actual	14
4.2.1. Simulação do processo	18
4.2.2. Custos de Mão-de-obra directa	21
4.3. Linha dedicada (Alternativa 1)	22
4.3.1. Custos de MOD	23
4.4. Alternativa Mista (Alternativa 2)	24
4.4.1. Custos MOD	25
4.5. Discussão de resultados	26
5. Análise Eurocar	31
5.1. Cadeira Eurocar	31
5.2. Situação actual	32
5.3. Método COMSOAL	36
5.4. Situação futura	37
6. Conclusões	39
6.1. B9	39
6.1.1. Custos MOD	39
6.1.2. Custos logísticos	40
6.1.3. Taxas de ocupação	40
6.1.4. Taxa de produção	40
6.1.5. Conclusão final	41
6.1.6. Outras considerações	42
6.2. Cadeira Eurocar	43
6.3. Perspectivas futuras	43
7. Referências bibliográficas	45
8. Anexo A	46
9. Anexo B	47
10. Anexo C	48

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1- Interface simulação do Simul8	7
Figura 2 - Exemplo de <i>output</i> de dados referentes ao <i>Work Center</i> 1 da figura 1	8
Figura 3 - Esquema de linha de montagem	9
Figura 4 - Exemplo de diagrama de precedências	10
Figura 5 - Fluxograma do método COMSOAL	11
Figura 6 – Alguns componentes para indústria automóvel produzidos pela Divisão de Plásticos	13
Figura 7 – Fotografia das duas faces do painel B9	14
Figura 8 - Diagrama de precedências	17
Figura 9 - Esquema de simulação Simul8	18
Figura 10 - Distribuição de ocupação do operário 1	19
Figura 11 - Distribuição de ocupação do operário 2	20
Figura 12 - Distribuição ocupação máquina soldadura	20
Figura 13 - Gráfico comparação de custo de MOD	26
Figura 14 - Gráfico comparativo de necessidades de <i>stock</i>	27
Figura 15 - Gráfico de distribuição ocupação operário linha 1 [%]	28
Figura 16 - Gráfico de distribuição ocupação operário linha 2 [%]	28
Figura 17 - Gráfico de taxa ocupação máquina de soldar [%]	29
Figura 18 - Taxa de cadência horária	30
Figura 19 - Cadeira Eurocar	31
Figura 20 - <i>Layout</i> original produção Eurocar	32
Figura 21 – Diagrama precedências de linhas <i>backrest</i> e <i>seat</i>	34
Figura 22 - Diagrama precedências de posto final	35
Figura 23 – Gráfico comparativo entre tempos de trabalho dos operários e o tempo de ciclo	35
Figura 24 - Interface de equilibragem de linha em Microsoft Excel	36
Figura 25 – Exemplo de equilibragem obtido pelo algoritmo programado	37
Figura 26 - Equilibragem linha <i>backrest</i>	38

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1 – Exemplo de cartografia de fluxo de um produto	5
Tabela 2 - Cartografia do processo.....	15
Tabela 3 - Legenda do esquema de simulação	18
Tabela 4 - Entrada e saída de componentes do processo.....	21
Tabela 5 - Distribuição MOD para situação actual	21
Tabela 6 - Custo MOD para situação actual.....	21
Tabela 7 - Distribuição MOD para linha dedicada.....	23
Tabela 8 – Custo MOD para linha dedicada.....	24
Tabela 9 - Distribuição MOD para alternativa mista	25
Tabela 10- Custo MOD para alternativa mista.....	25
Tabela 11 - Cartografia de processo	33

SIGLAS

DEM – Departamento de Engenharia Mecânica

FCTUC – Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra

COMSOAL – *Computer Method of Sequencing Operations for Assembly Lines*

MOD – Mão-de-obra directa

1. INTRODUÇÃO

1.1. Motivação

Na sua autobiografia lançada em 1922, Henry Ford disse que "*Any customer can have a car painted any colour that he wants, so long as it is black*", numa alusão ao seu Modelo T, o primeiro automóvel verdadeiramente produzido em massa. A prosperidade económica que existia nesse tempo permitia que as empresas produzissem quantidades massivas de um mesmo produto, “empurrando-o” para o consumidor. Contudo, os tempos mudaram. O mercado actual é focado no consumidor, ou seja, cada um é individual, com a sua própria personalidade, gostos e exigências. É o consumidor que “puxa” o produto, na quantidade e no momento em que necessita. As empresas vêm-se então confrontadas com a produção de uma diversidade de produtos, muitas vezes complexos, com taxas de produção variáveis e com um tempo de vida curto, num mercado altamente globalizado e competitivo. Por todos estes motivos exige-se às empresas um esforço contínuo de optimização de processos de fabrico, para que no fim a empresa se mantenha competitiva e possa prosperar.

1.2. Ferramentas de apoio

O problema da variabilidade da taxa de produção de produtos, implica constantes modificações nas estruturas de produção de uma empresa. Os algoritmos para a equilibragem de linhas de montagem, permitem na maior parte dos casos uma maximização da eficiência, para cada uma das cadências de um produto ao longo da sua vida produtiva. O método COMSOAL e o método dos pesos posicionais são exemplos destes tipos de algoritmos. O método dos pesos posicionais faz a afectação das operações de acordo com o tempo de operação das mesmas. Coloca em primeiro lugar as operações com maior tempo de operação deixando as operações mais pequenas para o fim. O método

COMSOAL pelo contrário faz a afectação das tarefas de modo aleatório, apresentando uma larga gama de resultados. (Silva, 1994).

Os *softwares* de simulação de operações permitem avaliar a performance de um sistema e testar melhorias. Permitem a criação de um *layout* virtual, contendo os elementos presentes no “chão de fábrica”, operações e deslocamentos. Os resultados obtidos pelos modelos permitem uma análise da eficiência do sistema, assim como comparações entre diversas soluções produtivas, sem que para isso se tenha de recriar fisicamente um processo fabril, funcionando como uma poderosa ferramenta de decisão. (Law and Kelton, 2000)

1.3. Objectivos

Neste trabalho foram estudados os processos produtivos de dois tipos de produtos da empresa Simoldes Plásticos.

O primeiro produto estudado foi o Painel B9. O painel B9 é um painel utilizado nas portas de automóveis. As operações neste painel podem ser divididas em 2 grupos: (1) Injecção, (2) Pós injecção – montagem de componentes, soldadura, verificações de qualidade. O foco de estudo será este último grupo de operações. O objectivo será identificar se essas operações deverão ser realizadas logo à saída da máquina de moldagem por injecção ou, se pelo contrário, será rentável acumular *stock* de painéis e realizar estas operações em linhas de trabalho criadas para o efeito.

No segundo caso, foi estudada a linha de montagem de uma cadeira de criança utilizada nos automóveis, com a designação Eurocar. A linha caracteriza-se por uma grande variação da cadência de produção ao longo do tempo. Em consequência, o objectivo do estudo passa pela produção de ferramentas que permitam adaptar a utilização de recursos humanos de acordo com a taxa de produção necessária em cada momento.

1.4. Estrutura da Tese

Capítulo 1: Breve introdução ao tema da tese, motivação, objectivos e estrutura da tese.

Capítulo 2: Enquadramento teórico. São descritos conceitos que suportam a elaboração deste trabalho, como noções de tempos e métodos, simulação de operações, e equilibragem de linhas.

Capítulo 3: É descrita a empresa ao nível da sua constituição, localização e pequena introdução histórica.

Capítulo 4: São analisados os processos produtivos inerentes ao Painel B9. São comparadas e simuladas soluções alternativas ao processo actual.

Capítulo 5: São analisados os processos produtivos inerentes à cadeira Eurocar. São produzidas ferramentas de equilibragem e posterior teste em caso prático.

Capítulo 6: Resumo das conclusões retiradas do trabalho da presente tese.

2. ENQUADRAMENTO TEÓRICO

Este capítulo tem como objectivo a exposição da informação teórica de base, necessária para a realização deste trabalho. Nele está contida informação sobre o estudo de tempos e métodos, noções sobre equilibragem de linhas e uso de simulação.

2.1. Tempos e métodos

O interesse no estudo dos tempos e métodos data do final do século XIX, por parte do casal Gilbreth. Contudo foi Taylor, um engenheiro que trabalhava na indústria extractiva e célebre pela divisão do trabalho em tarefas elementares repetitivas, que introduziu este assunto na indústria. Taylor questionava-se sobre a melhor maneira de se executar uma tarefa, ou qual seria a melhor distribuição de trabalho individual para otimizar o trabalho de grupo.

Hoje em dia, baseando-se no estudo de tempos e métodos as empresas têm objectivos como: aumentar a produção sem envolver mais operários, reduzir o esforço de cada operador e fixação de cadências e tempos de operação.

A metodologia para o estudo de métodos é constituída por quatro fases (Manual Pedagógico PRONACI “Métodos e Tempos”):

1. Observação
2. Registo de dados e informações
3. Análise crítica
4. Proposta de novos métodos ou oportunidades de melhoria

Os objectivos finais do estudo dos tempos e métodos são então o estabelecimento de padrões de produção, assim como a obtenção de dados para balanceamento de linhas de produção e determinação de custos.

Uma das ferramentas mais utilizadas para a análise do processo é a cartografia de fluxo de um produto. A cartografia de fluxo, consiste numa tabela em que se descrevem

todas as tarefas intervenientes na produção de um determinado produto. (Courtois, Pillet e Martin-Bonnefous, 2007)

Um dos pontos-chave da cartografia de produto é a decomposição de tarefas em elementos básicos:

- Operação ou transformação que traz valor acrescentado 
- Transporte ou movimentação 
- Armazenagem com operação de entrada/saída 
- Stock-tampão 
- Controlos 

Tabela 1 – Exemplo de cartografia de fluxo de um produto (Fonte: Courtois, Pillet e Martin-Bonnefous, 2007)

					Distância	Tempo	Quantidade	Peso	Processo
									Saída do armazém
					70 m	0,3 h	1000	25 kg	Para corte
						0,12 h/p			Corte
					10 m	0,1 h	50	1,25 kg	Para furação
						0,06 h/p			Furação
					5 m	0,1 h	50	1,25 kg	Para controlo

A cartografia de processo permite de forma simples, organizar as informações, para se compreender melhor os condicionalismos a que o processo está sujeito. Além da descrição das operações apresenta detalhes como distâncias percorridas em transporte, tempos e quantidades.

2.2. Simulação de operações

A simulação é uma ferramenta estatística que permite imitar ou simular o funcionamento de vários tipos de processos ou instalações ao longo do tempo, num modelo computadorizado. O processo ou estrutura em estudo é denominado sistema, contudo, para o estudo correcto do problema, ou seja, a maior aproximação à realidade possível, é necessário atribuir relações entre as partes constituintes do sistema. Quando estas relações se tornam demasiado complexas para serem estudadas por métodos meramente analíticos, a simulação surge como a solução para o problema. A simulação permite o uso de meios computacionais para avaliar numericamente o problema, reunindo as informações disponíveis, de modo a estimar as verdadeiras características do sistema.

Aplicações da simulação:

- . Planear e analisar sistemas de produção
- . Avaliar requisitos logísticos
- . Determinar requisitos de *hardware* para redes de comunicação
- . Planear e operar sistemas de transporte
- . Planear e analisar serviços públicos
- . Reengenharia de processo
- . Gestão de *stocks*
- . Analisar sistemas económicos e financeiros

Vantagens da simulação:

- . Permite a análise de sistemas reais complexos, que não se podem estudar analiticamente
- . Permite estimar o desempenho de um sistema e comparação com variação das condições de funcionamento
- . Permite estudar o funcionamento de um sistema ao longo de período de tempo extenso, num curto espaço de tempo

Desvantagens da simulação:

- . A simulação de processos apenas produz estimativas das verdadeiras características do sistema a ser estudado.
- . Desenvolvimento do modelo de simulação pode ser dispendioso e moroso.
- . O volume de resultados obtidos e a visualização gráfica produzida por um *software* de simulação poderão influenciar a aceitação dos modelos mesmo quando este não é válido.

O *software* de simulação utilizado neste trabalho foi o Simul8. O Simul8 foi desenvolvido na década de 90 na Universidade de Strathclyde na Escócia e permite a simulação por eventos discretos, ou seja, representa um sistema numa sequência cronológica de eventos, em que cada evento ocorre num instante do tempo e provoca uma alteração no estado do sistema. O programa permite modelar o sistema em estudo, ao levar em conta as características dos sistemas de produção reais tais como: capacidades, taxas de falha, padrões de turnos, entre outros factores que influenciam a eficiência de produção.

Um dos pontos fortes do Simul8 é a sua interface gráfica, que permite a construção simples de sistemas e sua respectiva modelação, com recurso a diagramas de processo, onde se podem inserir símbolos que representam entrada de objectos, postos de trabalho, *stocks*, entre outros.

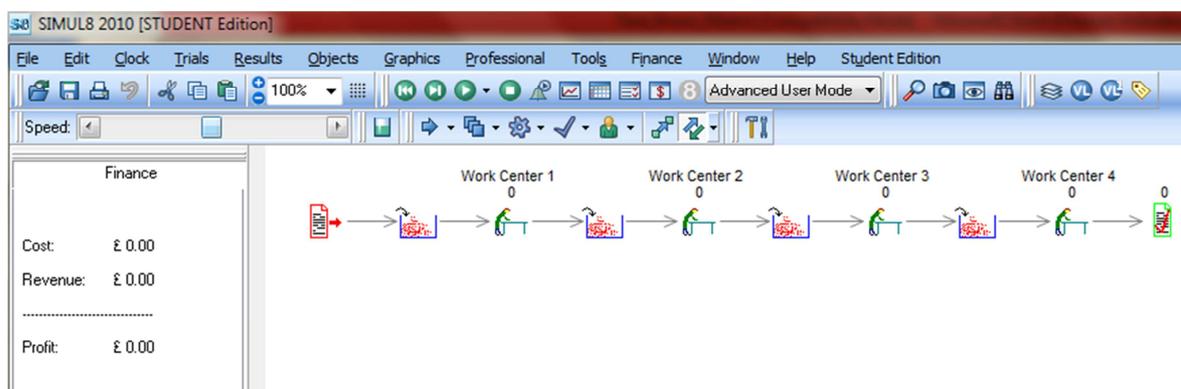


Figura 1- Interface simulação do Simul8

Finalmente o Simul8, proporciona um *output* de valores e estatísticas de performance, que permitem ao utilizador avaliar e comparar sistemas.

Work Center 1	Waiting %	0.48
	Working %	99.52
	Blocked %	0.00
	Stopped %	0.00
	Number Completed Jobs	230.00
	Minimum use	0.00
	Average use	0.99
	Maximum use	1.00
	Current Contents	1.00
	Change Over %	0.00
	Off Shift %	0.00
	Resource Starved %	0.00

Figura 2 - Exemplo de *output* de dados referentes ao *Work Center 1* da figura 1

2.3. Equilibragem de linhas de montagem

A linha de montagem foi pela primeira vez utilizada por Henry Ford, por volta de 1913 na fabricação do famoso Modelo T. A linha de montagem permitiu a redução dos tempos de transformação dos produtos, e logo um grande aumento na taxa de produção. Esta massificação de produção levou a uma descida de preço dos bens de consumo, originando verdadeiras revoluções nos hábitos de consumo, e logo, na sociedade em geral. É por tudo isto considerada uma das maiores inovações tecnológicas da área industrial.

Numa linha de montagem são efectuadas várias operações elementares distintas, com o objectivo da montagem sequencial de um ou mais produtos. A linha de montagem é composta por um conjunto de postos de trabalho ligados entre si por um mecanismo de transporte.

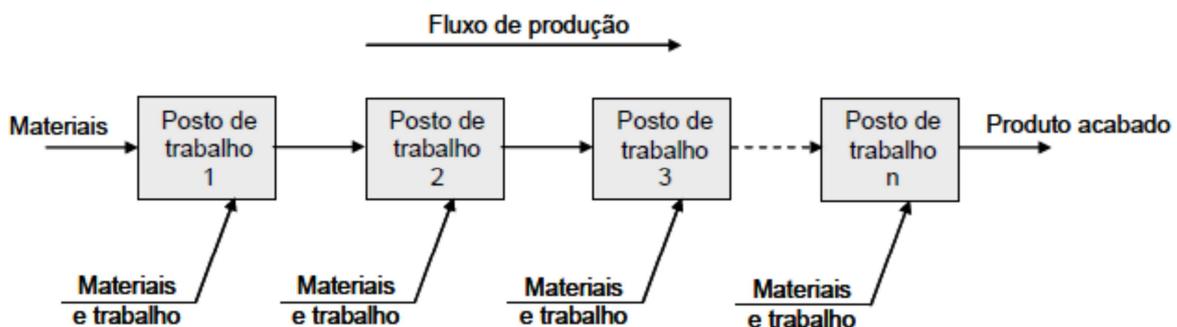


Figura 3 - Esquema de linha de montagem (Fonte: Slides da cadeira de Gestão de Produção)

Existem alguns conceitos indispensáveis para a caracterização de uma linha de montagem:

- Operação – parte indivisível da totalidade das tarefas necessárias para a montagem de um produto.
- Posto de trabalho – local onde as operações são realizadas, podendo ser afectadas a operadores humanos ou sistemas automáticos.
- *Takt time* – É a razão entre o tempo disponível para produção e a procura do cliente. O *Takt time* terá de ser sempre igual ou superior ao tempo de ciclo.
- Tempo de serviço – tempo necessário para finalizar as operações atribuídas a determinado posto de trabalho.

- . Tempo de ciclo – É o tempo disponível em cada posto de trabalho para realizar as suas operações. É importante que o tempo de serviço se aproxime do tempo de ciclo, de modo a evitar os tempos mortos do operário.
- . Tempos mortos – É a diferença entre o tempo de ciclo de um posto de trabalho e o tempo de serviço.

Um dos desafios das linhas de montagem é a equilibragem das mesmas. Por equilibragem entenda-se a distribuição das diversas operações necessárias para a montagem de um produto, pelos diversos postos de trabalho, de modo a que o sistema tenha a maior eficiência possível, ou seja, o menor somatório de tempos mortos. Para sistemas com um dado tempo de ciclo, a equilibragem é conseguida com a minimização dos postos de trabalho. Contudo, a distribuição das operações não pode ser aleatória, as diversas etapas de montagem de um produto têm por vezes de respeitar relações de precedência, o que significa que certas operações não podem ser iniciadas sem que outras estejam anteriormente concluídas. As precedências podem facilmente ser representadas por uma rede onde os círculos representam as operações e as setas as relações de precedência, conforme apresentado na Figura 4, permitindo uma fácil análise do sistema.

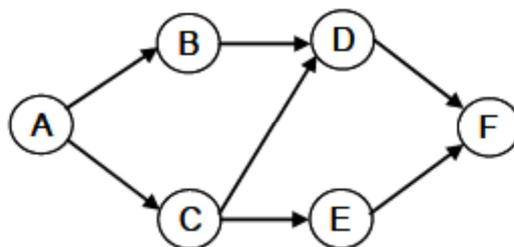


Figura 4 - Exemplo de diagrama de precedências (Fonte: Slides da cadeira de Gestão de Produção)

Um dos métodos utilizados para a equilibragem de linhas é o método COMSOAL. Este método baseia-se na utilização de meios computadorizados para gerar sequências de operações, respeitando as suas respectivas precedências. A equilibragem é conseguida afectando as operações aos postos de trabalho, retirando-as de uma lista virtual de operações que já têm as suas precedências imediatas concluídas e que o seu tempo de operação seja inferior ao tempo de ciclo disponível. A particularidade deste método é que

essas operações são afectadas de modo aleatório, sendo que cada uma das soluções de equilibragem é diferente. Este método apenas se torna exequível quando se retiram um grande número de soluções, ou seja, quanto mais soluções de equilibragem, maior a probabilidade de se encontrar uma solução com um menor tempo morto.

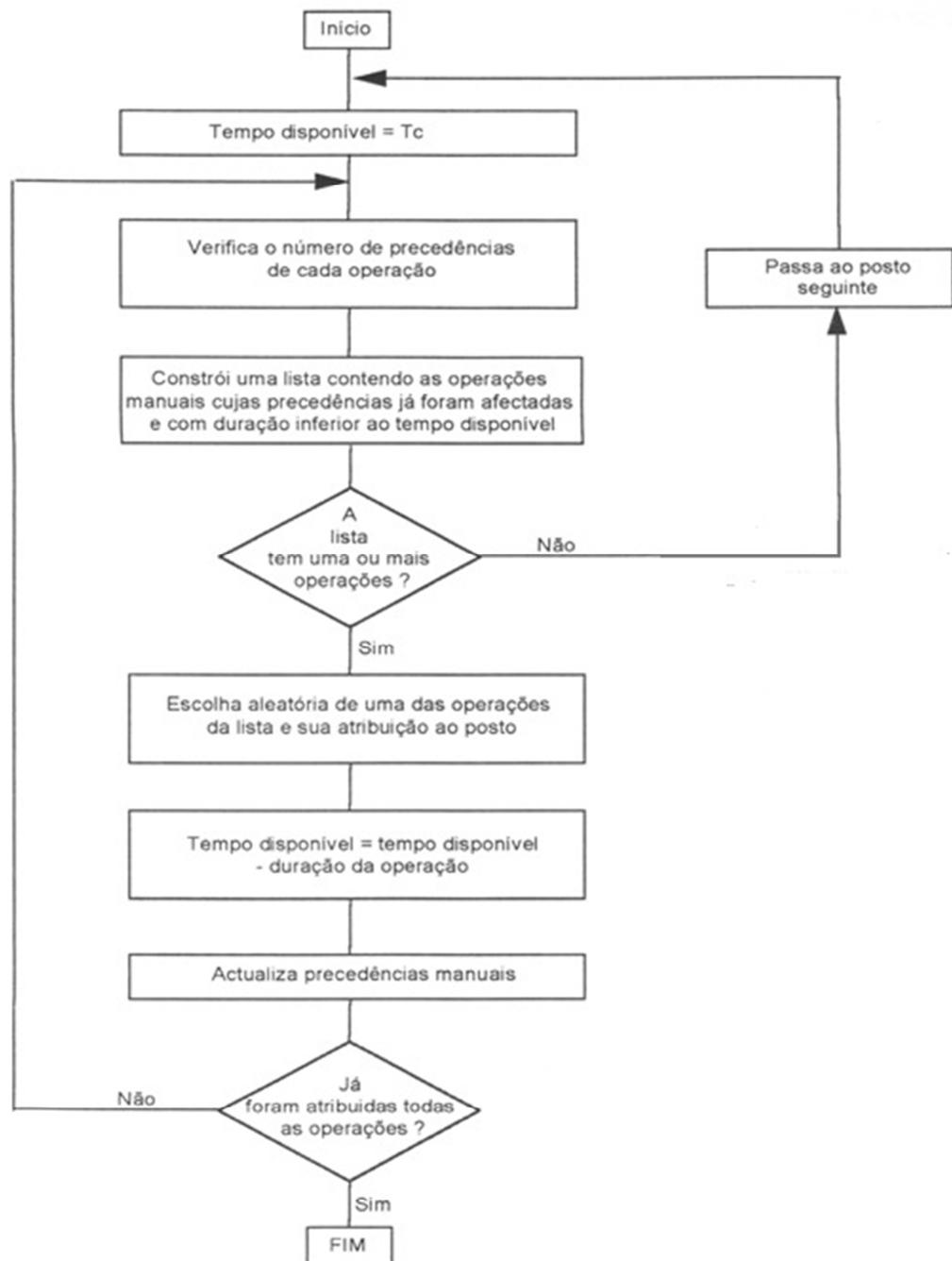


Figura 5 - Fluxograma do método COMSOAL (Fonte: Silva, 1994, adaptado)

3. DESCRIÇÃO EMPRESA

Este capítulo tem como objectivo fazer uma descrição geral da empresa na qual foi efectuado o trabalho descrito na presente tese. Irão ser abordados assuntos como a história da empresa, a sua estrutura interna, descrição dos produtos e principais clientes.

3.1. A Empresa

A Simoldes foi formada em 30 Novembro de 1959. A empresa fundada pelo Sr. António Rodrigues, designava-se então por "Simoldes Aços", e localizava-se como actualmente no concelho de Oliveira de Azeméis.

Nos primórdios da sua actividade dedicou-se à produção de moldes para fabrico de utensílios domésticos e brinquedos.

Apesar de se ter iniciado como uma pequena empresa, as décadas de 60 e 70 denotaram-se pelo seu grande crescimento. Foi uma altura de mudança positiva para a empresa: os seus clientes e mercado alvo começaram a diversificar-se, houve investimento em instalações e equipamentos, e por último, contratação de mão-de-obra especializada. Estes factores no seu conjunto, permitiram a consolidação da empresa.

Outro factor relevante foi a mudança do *core business* da empresa para o sector da indústria automóvel. Actualmente é este sector o principal cliente e o principal responsável pelas receitas da empresa.

A divisão de moldes do grupo Simoldes é considerada actualmente a maior fabricante europeia de moldes, tendo como clientes empresas como: Renault, Volvo, BMW, Saab, GM, Ford, Peugeot, Mercedes, Citroën, VW, Seat, Nokia, Hoover, IBM, Whirlpool, Phillips.

A partir de 1980 o grupo Simoldes passou a contar com uma Divisão de Plásticos. A Divisão de Plásticos dedica-se à produção de componentes plásticos para a indústria automóvel (ver alguns exemplos na Figura 6), encontrando-se dividida em sete empresas distribuídas por países como: Portugal, França, Brasil, e Polónia.



Figura 6 – Alguns componentes para indústria automóvel produzidos pela Divisão de Plásticos

A Divisão conta na sua totalidade com cerca de 300 máquinas de moldagem por injeção, gerando um volume anual de vendas à volta de 200 milhões de euros. Os seus principais clientes são: Renault, Volvo, VW, Audi, Nissan, Toyota, Porsche, Honda, Mercedes, GM, Mitsubishi, Bébéconfort e AmtrolAlfa.

Em questões de qualidade a empresa possui as certificações respectivas ao modelo geral de gestão de qualidade ISO 9001:2008, e ISO/TS 16949:2002 que se refere às normativas de qualidade específicas para a indústria automóvel.

4. ANÁLISE PAINEL B9

Este capítulo tem como objectivo a análise dos processos de fabrico inerentes ao painel B9. Além da caracterização da situação actual de produção do painel B9, são propostas e analisadas outras soluções produtivas.

4.1. O painel B9

O painel B9 é um painel plástico utilizado nas portas de automóveis, representado na Figura 7.



Figura 7 – Fotografia das duas faces do painel B9

Após a saída da máquina de moldagem por injeção, são necessárias uma série de operações com o objectivo de montar e soldar componentes, assim como efectuar verificações de qualidade.

Normalmente existem duas linhas em funcionamento, produzindo painéis para portas esquerdas ou direitas respectivamente.

4.2. Situação Actual

Na situação actual de produção, após a saída da máquina de moldagem por injeção, o painel é imediatamente levado para uma linha de produção que se encontra localizada à saída da máquina. Nessa linha de produção, as operações de pós injeção encontram-se divididas por dois operários. O primeiro operário realiza as primeiras

operações de inspecção visual, assim como efectua a montagem de componentes na parte técnica do painel (posterior). Posteriormente coloca o painel na máquina de soldadura por ultra-sons. O segundo operário colecta o painel após soldadura, coloca o mesmo numa máquina de controlo e efectua as operações na parte frontal do painel. Este mesmo operário é responsável pela colocação dos painéis em contentores.

A cadência da máquina de moldagem por injeccção é na ordem de uma peça por cada 60 segundos. Este factor será o maior limitativo de produção para um sistema de operações à saída da máquina.

O primeiro passo para a proposta de melhorias ao processo actual foi a análise do mesmo. Para tal, foram realizadas 2 filmagens das tarefas realizadas pelos 2 operadores em períodos distintos. Posteriormente essas filmagens foram estudadas de modo a se identificar as operações realizadas, a duração e sua sequência de execução. Além da análise das filmagens, foi realizada uma observação *in loco*, de modo a se esclarecer alguns detalhes não totalmente perceptíveis nas filmagens. O resultado desta análise foi resumido na tabela de cartografia representada na Tabela 2. Nessa tabela estão discriminadas todas as operações realizadas, o operador afecto a cada operação, as distâncias de movimentação do operador, o tipo de operação assim como o tempo médio necessário para a sua execução. As relações de precedência foram representadas sob a forma de rede, com actividades nos nós, conforme se representa na Figura 8.

Tabela 2 - Cartografia do processo

Nº Op.	Designação Operação	Manual/Automático	Operário	Distância [m]	Tipo op.	Precedências	Tempo [s]	D.P [s]	Obs.
0	Deslocamento inicial		1	1,5			2,845	0,130	
1	Retirar excessos de injeccção	Manual	1				2,085	0,342	
2	Inspecção visual	Manual	1				5,012	0,981	
3	Transporte painel	Manual	1	0,5					
4	Colectar esponja	Manual	1	Mão					
5	Colocar esponja	Manual	1			4	3,785	0,198	
6	Colectar grampos plásticos (9)	Manual	1	Mão			2,445	0,251	
7	Colocar grampos no painel	Manual	1			6	9,905	1,324	
8	Colectar grampo metálico	Manual	1	Mão			5,500	1,359	
9	Colocar grampo metálico	Manual	1			8			
10	Marcação painel	Manual	1			5;7;9	1,538	0,246	

Análise Painel B9

11	Colectar <i>Pocket</i>	Manual	1	(x)					
12	Colocar <i>Pocket</i>	Manual	1			11	2,655	0,309	
13	Transporte	Manual	1	1			2,709	0,160	
14	Carregamento painel	Manual	1	Mão			2,715	0,407	
15	Agarrar e colocar medalhão	Manual	1	Mão			3,195	0,412	
16	Soldadura do painel	Auto.	1			12;14;15	24,025	0,156	
17	Descarregar	Manual	2	Mão		16	3,505	0,416	
18	Transporte	Manual	2	0,5					
19	Agarrar e colocar punho	Manual	2	Mão			2,782	0,503	
20	Fixação punho/Controlo	Automático	2			1;16;19	?		2
21	Colocar película	Manual	2				14,860	1,684	
22	Inspeção visual	Manual	2				10,180	1,853	
23	Transporte para palete	Manual	2	1		Todos!			
24	Cartão + Fechar Palete	Manual	2				6,244	1,854	3
25	Cartão + Tampo	Manual	2				4,764	0,812	3
26	Etiqueta	Manual	2				16,887	3,201	3
27	Leitura	Manual	2				6,168	1,755	3
28	Mover Palete	Manual	2	1			6,048	4,467	3
29	Marcação Quadro	Manual	1				42,130		4
0	Deslocamento final		2	1,5			2,990		

(x) Operário roda 180°

(2) Impossível de distinguir tempo. Para a análise foi considerado que as operações 20 e 21 se dão simultaneamente (Média:18,335[s] Desvio Padrão:1,747[s]).

(3) Operação apenas realizada de 12 em 12 painéis.

(4) Operação realizada de hora em hora.

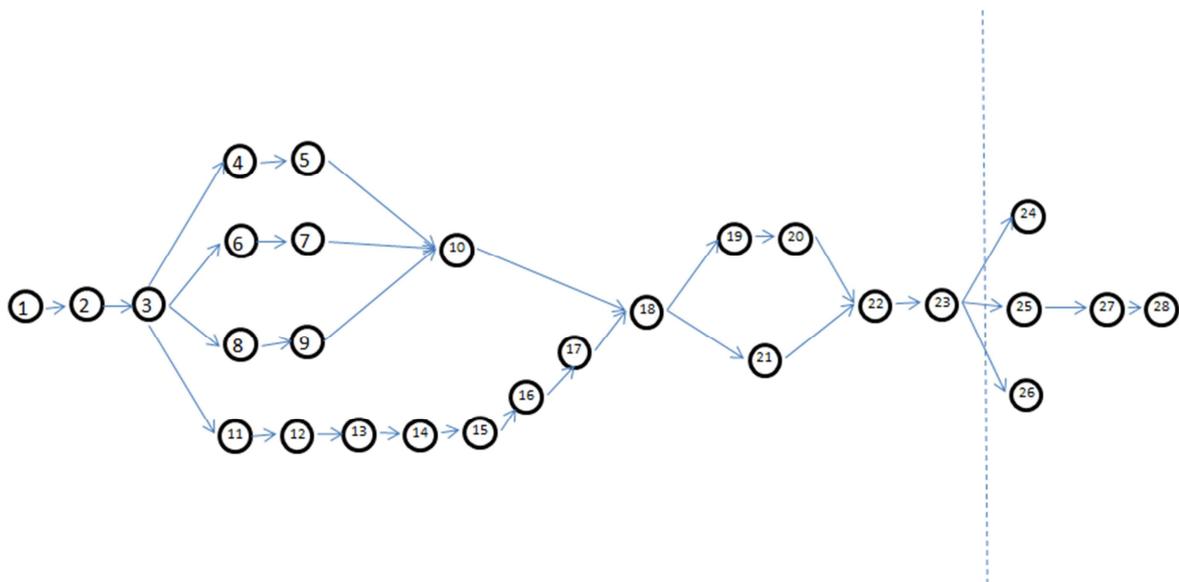


Figura 8 - Diagrama de precedências

Verifica-se então que à saída da máquina, por cada painel são realizadas vinte e três operações, sendo que duas delas são efectuadas em postos de trabalho automáticos. A cada doze painéis existe necessidade de efectuar cinco operações adicionais que se referem às operações finais para o fecho do contentor de painéis já finalizados. As operações encontram-se distribuídas pelos dois operários, conseguindo-se uma taxa de produção de um painel por minuto, taxa esta que corresponde à cadência da máquina de injeção. Para satisfazer a procura do cliente, a linha tem de trabalhar em 3 turnos de 8 horas, o que significa que ao longo de um dia de trabalho são necessários 6 operários, cada um deles recebendo subsídio de turno, que corresponde a um aumento de 25% em relação ao vencimento base. Sendo que existem 2 linhas, uma para painéis esquerdos e outra para painéis direitos, na globalidade são necessários 12 operários, todos eles recebendo subsídio de turno.

4.2.1. Simulação do processo

Com todos os dados apresentados na tabela anterior, foi construída uma simulação, no programa Simul8, da situação actual. Esta simulação, além de permitir analisar o modelo actual, serve como um modelo padrão, a partir do qual se podem comparar novas soluções produtivas. Na Figura 9 apresenta-se o modelo desenvolvido.

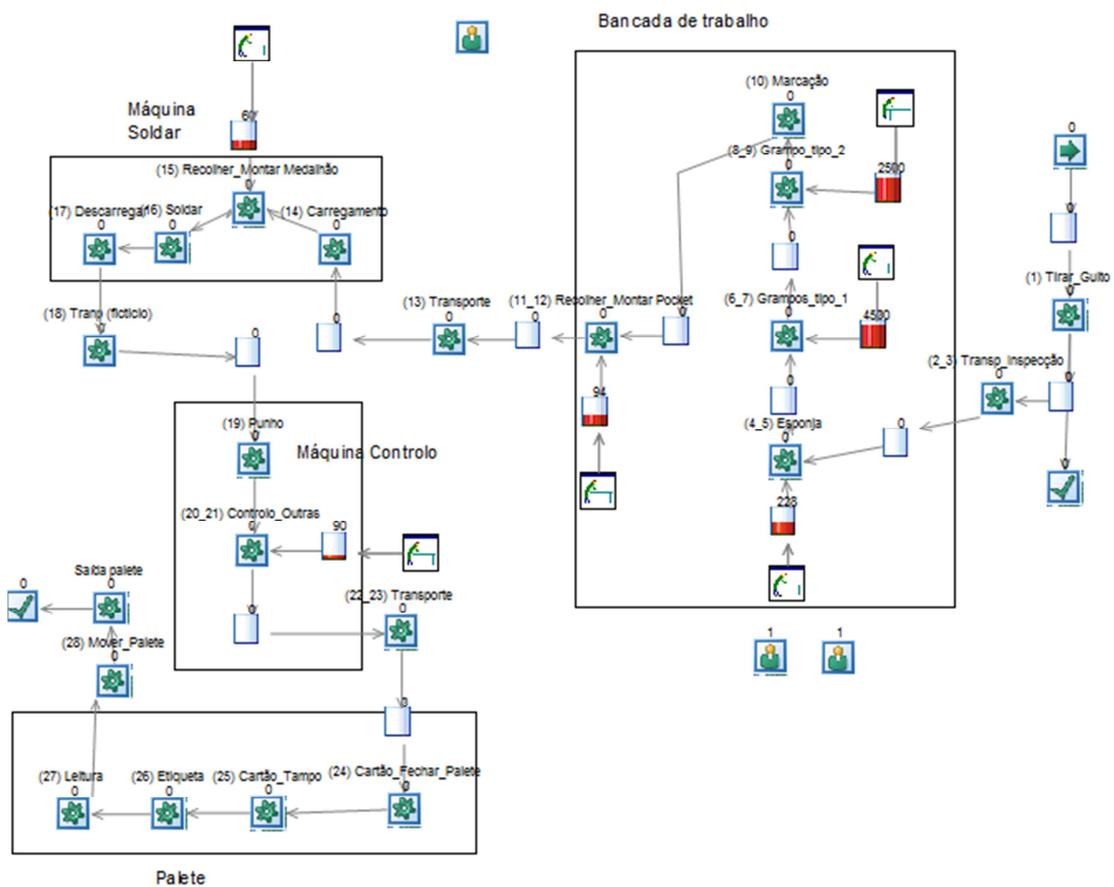


Figura 9 - Esquema de simulação Simul8

Tabela 3 - Legenda do esquema de simulação

	Simula a entrada de peças necessárias ao processo produtivo (painéis, grampos, esponjas, etc.)
	Simula saída de peças
	Simula operações de trabalho
	Simula os stocks existentes na linha de produção, desde stocks de peças necessárias para a conclusão do trabalho, como stocks intermédios do processo.
	Representa um operário
	Simula o reabastecimento de componentes à linha

4.2.1.1. Caracterização da simulação

Os resultados de simulação apresentados ao longo das secções seguintes foram obtidos utilizando as seguintes opções:

- . *Warm Up*, período durante o qual o modelo corre sem serem recolhidas estatísticas, permitindo que os diversos aspectos de simulação atinjam as condições normais de funcionamento, de um dia.
- . *5 trials*, ou seja o número de corridas de simulação efectuadas. Cada trial corresponde à simulação de 5 dias úteis.
- . Admite-se que os tempos das operações medidos e apresentados na Tabela 2 respeitam uma distribuição normal de resultados.

4.2.1.2. Resultados da simulação

Nas Figuras 10 e 11, apresentam-se os resultados da simulação referentes aos tempos de ocupação de cada um dos operários afectos à linha analisada.

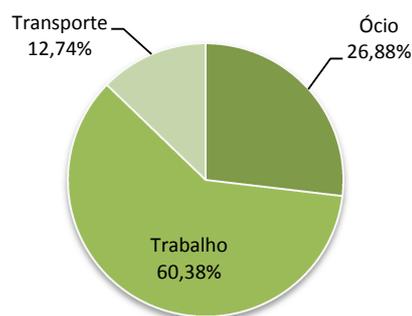


Figura 10 - Distribuição de ocupação do operário 1

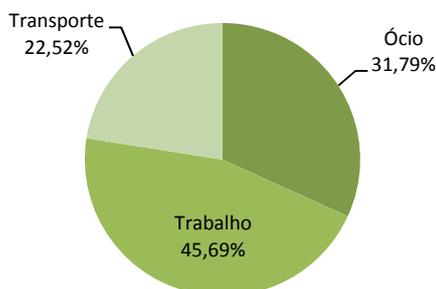


Figura 11 - Distribuição de ocupação do operário 2

Analisando as Figuras 10 e 11, verifica-se que para ambos os operários existem tempos de trabalho não produtivos (ócio e movimentação) consideráveis. Esta situação é particularmente notória para o operário 2, com taxas de trabalho produtivo abaixo de 50%. Este facto relaciona-se em parte com a morosidade da tarefa de transporte de painéis finalizados para contentor.

Na Figura 12 apresenta-se a distribuição dos tempos de ocupação referentes à máquina de soldadura.

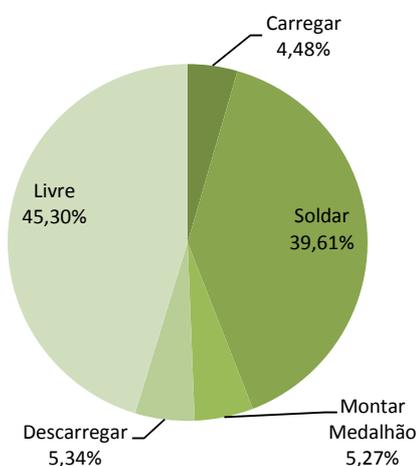


Figura 12 - Distribuição ocupação máquina soldadura

Em relação à máquina de soldar verificam-se grandes tempos de inactividade, cerca de 45% do tempo total. A informação transmitida pela empresa foi de que sempre que a taxa de ocupação ultrapasse os 40%, a máquina de soldar será dedicada em exclusivo a uma linha. Esta situação corresponde ao que se passa na realidade e é assim suportada pelos dados da Figura 12.

Tabela 4 - Entrada e saída de componentes do processo

Entrada Painéis	7200
Painéis Rejeitados	77,40
Saída de Contentores (12 Painéis)	593,80
Taxa produção [painel/hora]	59,38

Os resultados acima referidos foram apresentados aos responsáveis da Simoldes de modo a se validar o modelo de simulação desenvolvido. Nessa reunião houve uma aceitação dos resultados e do modelo, tendo sido referido pelos responsáveis da Simoldes que o modelo parecia replicar correctamente o sistema real.

4.2.2. Custos de Mão-de-obra directa

Para a situação actual foram determinados os custos de mão-de-obra directa (MOD) associados à produção do painel B9. Os operários encontram-se distribuídos pelas referidas 2 linhas, uma para cada um dos lados do painel. A distribuição pode ser vista pormenorizadamente na tabela seguinte:

Tabela 5 - Distribuição MOD para situação actual

	Turnos			
	00.00 08.00	08.00 16.00	16.00 24.00	
Linha 1	2	2	2	
Linha 2	2	2	2	
				Total 12 Operários

Tabela 6 - Custo MOD para situação actual

	Custo/Turno [€]			
	00.00 08.00	08.00 16.00	16.00 24.00	
Linha 1	140 (1)	140 (1)	140 (1)	
Linha 2	140 (1)	140 (1)	140 (1)	
				Total 840 [€]
Custo MOD – 7 [€/h] (1) Subsídio de turno - +25%				

A análise revela um custo final de MOD de 840€. Este valor funcionará como valor base para comparação com o custo de MOD de alternativas de melhoria.

4.3. Linha dedicada (Alternativa 1)

Na análise das alternativas, a empresa pretendia estudar o uso de apenas 2 turnos de trabalho de 8 horas, de modo a reduzir os custos com trabalho realizado com bonificação de subsídio de turno. O passo seguinte foi o cálculo do *takt time* de modo a vincular a taxa de produção necessária:

- . A procura do cliente é na ordem dos 1100 painéis por dia
- . Das 16 horas de trabalho, consideraram-se que apenas 15 horas são de trabalho útil efectivo (paragens programadas, etc.)
- . Rendimento operacional de 90% (η)

$$Takt\ Time = \frac{\text{tempo trabalho disponível}}{\text{procura do cliente}} \times \eta \quad (4.1)$$

$$Takt\ Time = \frac{15 \times 3600 [s]}{1100} \times 0.9 \approx 45 [s]$$

Este valor implica uma produção horária de 80 painéis, mais 20 do que na situação actual, onde se consideram 3 turnos de trabalho. Nesta opção o processo terá de ser dividido em 2 fases:

Na primeira fase existirá um operador à saída das 2 máquinas de injeção a fazer a armazenagem de *stock* em contentores. Na segunda fase existirão, à semelhança do que acontece na situação inicial, 2 operadores a efectuar as operações de pós-injecção, contudo ao invés de receberem os painéis directamente da máquina, irão retirar os mesmos de contentores em *stock*.

Estes aspectos irão implicar uma redistribuição das tarefas por parte dos operadores. O operário que faz a armazenagem de *stock* terá obrigatoriamente de fazer a colocação de grampos plásticos, pois estes só podem ser colocados com o painel “quente”.

Tabela 8 – Custo MOD para linha dedicada

Custo/Turno [€]			
	00.00	08.00	16.00
	08.00	16.00	24.00
Injecção	70 (1)	70 (1)	70 (1)
Linha 1		112	128,8 (2)
Linha 2		112	128,8 (2)
			Total 691,6 [€]
Custo MOD – 7 [€/h] (1) Subsídio de turno +25% (2) Subsídio Nocturno +15%			

Com esta alternativa consegue-se uma redução de custos relativos a MOD de 148,4 [€], ou seja de cerca de 18%, em relação à situação actual.

A opção por este tipo de solução produtiva traz porém custos logísticos associados:

- . Maior movimentação de contentores
- . Custo de gestão de armazém
- . Área ocupada em armazém

24 horas de stock, correspondem a 120 contentores. Admitindo que cada um ocupa 1,2 [m²] e são empilhados em conjuntos de 3, são necessários 48 [m²] de área de armazenamento. A esta área ainda se tem de somar mais 30% de área logística necessária, logo, no total 62 [m²].

4.4. Alternativa Mista (Alternativa 2)

Nesta solução produtiva é analisada uma solução mista entre os dois processos anteriores. Os processos de pós-injecção realizam-se à saída da máquina, porém, como a taxa de cadência da máquina de moldagem por injecção não permite suprir as exigências do *takt time* calculado no capítulo 4.3, além da alimentação da linha directa da máquina, é usado também *stock* para completar as exigências.

O primeiro operário da linha alimenta a linha preferencialmente directamente da máquina, contudo, pode abastecer a linha de contentores com stock, quando não existem

À semelhança da alternativa anterior, este modelo traz custos logísticos associados que contrabalançam com a poupança nos custos de MOD. A nível da área de armazenamento de *stock*, para um stock de 8 horas será necessário 21,84 [m²], um valor 63% abaixo em comparação com a primeira alternativa apresentada neste trabalho.

4.5. Discussão de resultados

Nos pontos anteriores foram apresentados os três cenários em análise e respectivos custos de MOD. Verifica-se que existe uma redução de 18% nos custos MOD da alternativa 1 e de 35% na alternativa 2 face ao verificado para a situação actual. Assim, numa análise tendo apenas em conta este tipo de custos, a alternativa 2 parece ser a mais viável, como se pode observar na figura abaixo indicada.

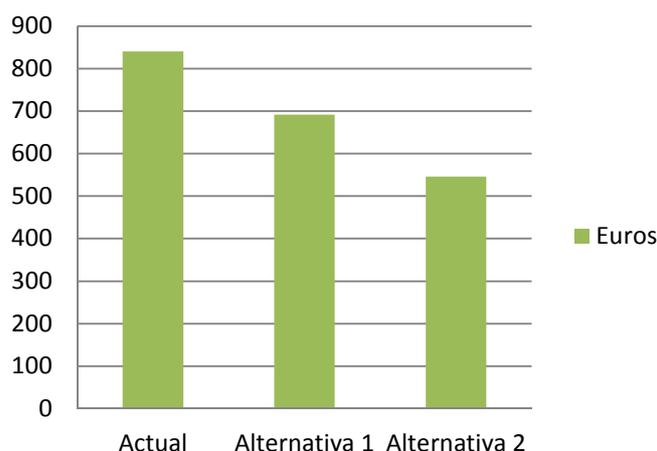


Figura 13 - Gráfico comparação de custo de MOD

A opção por cada uma das alternativas provoca segundo as ideologias empresariais mais recentes “desperdício”, pela acumulação de *stocks*. A acumulação de *stocks* acarreta alguns custos logísticos associados que deverão ser tidos em conta na tomada de decisão: espaço necessário em armazém, custo de movimentação de contentores e custo de gestão de armazém. Só a área de armazenamento, e o número de contentores envolvidos podem ser estimados durante a execução deste trabalho, dando uma ideia base de qual poderá ser o custo para a empresa. Estes dados estão representados na Figura 14.

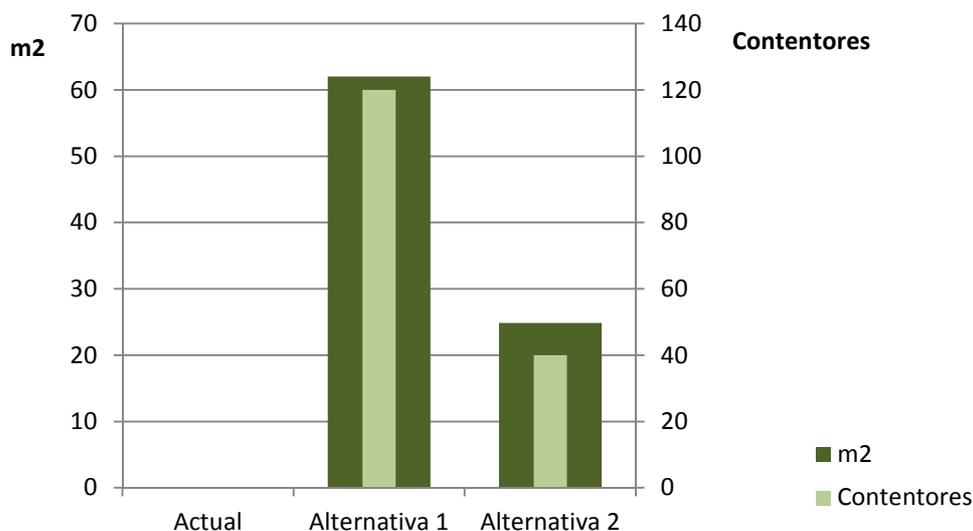


Figura 14 - Gráfico comparativo de necessidades de stock

A análise da Figura 14 revela que a nível de custos logísticos a alternativa 1 é a alternativa menos apetecível devido às grandes dimensões de *stock* necessário para que a mesma seja exequível.

Para complementar esta análise meramente financeira, foram comparados outros indicadores de desempenho, como as taxas de ocupação de operadores e equipamentos. Estes dados foram obtidos através da simulação de cada um dos cenários acima descritos, e estão apresentados sobre a forma de gráficos nas Figuras 15, 16 e 17.

Muitas vezes quando o operário 1 chega à máquina de soldar, esta encontra-se ocupada. Deste modo para cada uma das alternativas anteriores são simulados 2 cenários:

- . A1 e A2, o operário coloca a peça inacabada em stock intermédio antes da máquina de soldar e volta ao início do seu ciclo de trabalho.
- . A1' e A2', o operário espera que a máquina de soldar fique livre, de modo a completar até ao fim o seu ciclo de trabalho.

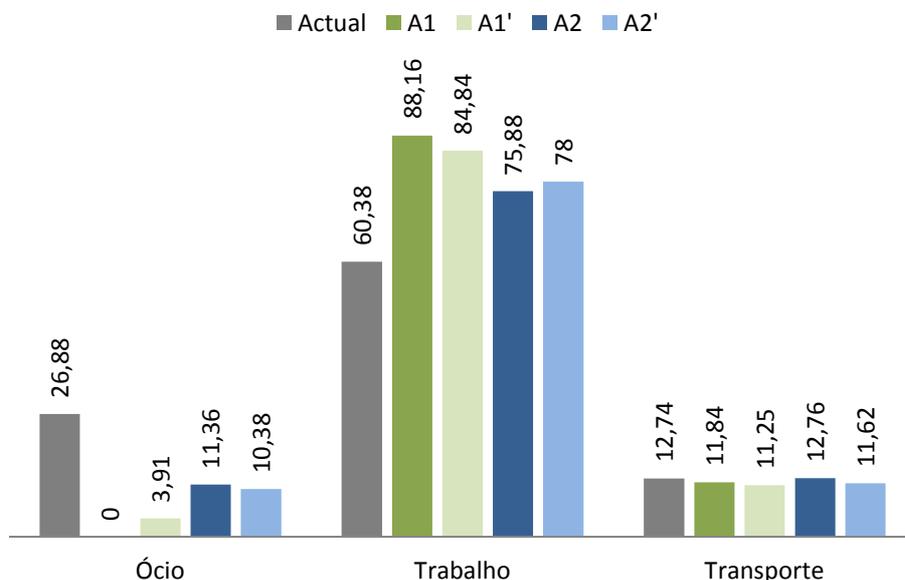


Figura 15 - Gráfico de distribuição ocupação operário linha 1 [%]

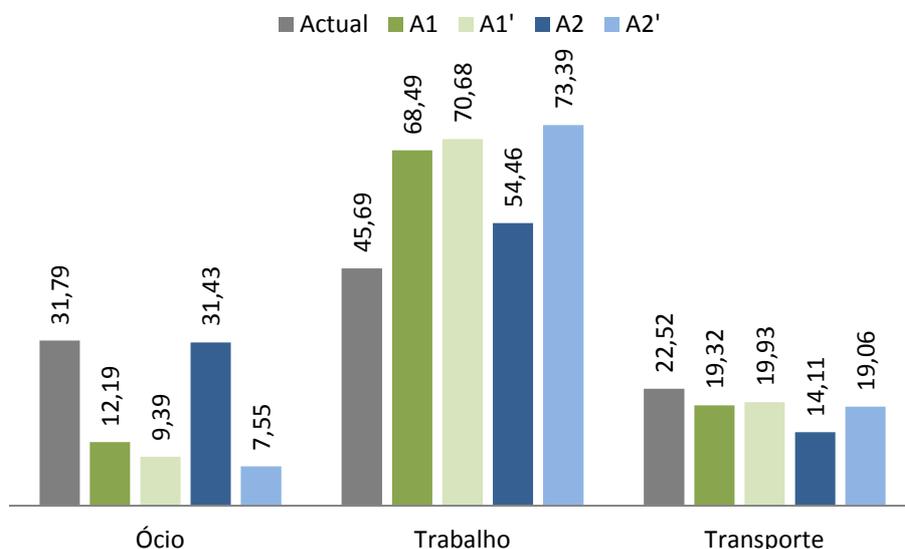


Figura 16 - Gráfico de distribuição ocupação operário linha 2 [%]

Como se pode constatar pela análise das Figuras acima apresentadas, as alternativas propostas fazem um maior aproveitamento do tempo de trabalho efectivo de cada um dos operários. Para o primeiro operário é visível um aumento da percentagem efectiva de trabalho entre 28,8 a 31,5% para a primeira alternativa e entre 20,4 a 22,5%

para a segunda alternativa. Em relação ao segundo operário as taxas de trabalho crescem entre 33,3 a 35,4% na primeira alternativa e entre 16,1 a 37,7% na segunda.

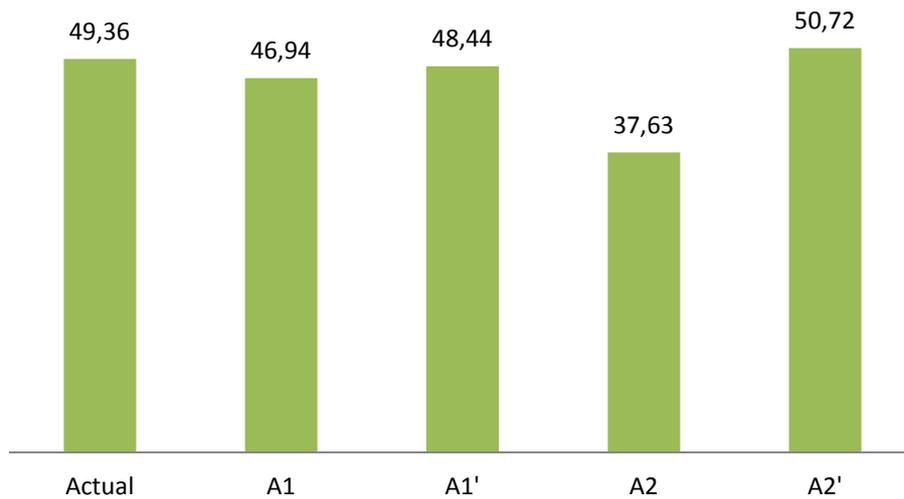


Figura 17 - Gráfico de taxa ocupação máquina de soldar [%]

Na Figura 17 verifica-se que com excepção da alternativa A2, as taxas de ocupação da máquina de soldar se mantêm constantes, com valores próximos dos 50%.

A simulação das alternativas permite também testar se realmente as opções alternativas aqui apresentadas, conseguem cumprir a taxa de cadência necessária para a sua viabilidade. Estão representadas na Figura 18 as taxas para cada alternativa simulada. Conforme calculado anteriormente em 4.2, a taxa de produção deverá atingir os 80 painéis por hora, para viabilizar a redução de turnos de trabalho.

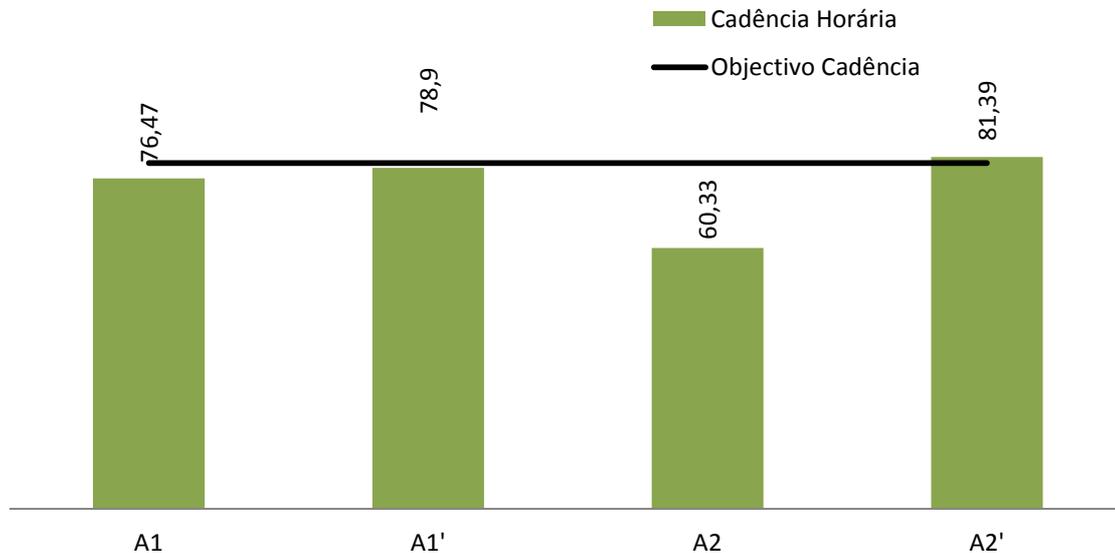


Figura 18 - Taxa de cadência horária

De acordo com a Figura 18, podemos observar que para cada um dos cenários simulados para a alternativa 1, não se consegue vincular a produção necessária para que a alternativa seja viável, quedando-se as propostas em valores entre as 76,47 e 78,9 peças por hora. Neste caso a única forma de tornar este método de produção viável seria a utilização de horas extraordinárias para que se completasse a produção requerida. De referir que para o cenário onde existe acumulação de *stock*, este cifra-se pelas 8 unidades por hora em média, unidades essas que poderiam ser finalizadas em tempo extraordinário. Na alternativa 2 existem dois resultados distintos. Devido à diferença de tempos de trabalho entre os painéis provenientes de contentor e os painéis retirados directamente da máquina, a acumulação de *stock* antes da máquina de soldadura seria inviável devido à sua grande dimensão, 35 peças por hora. A opção que inclui a espera pela desocupação da máquina de soldar pelo contrário apresenta resultados positivos, sendo atingida uma de 81,39 painéis por hora, em média.

Ainda em relação à alternativa 1, existe a possibilidade de tornar o processo viável, se o segundo operador efectuar as suas operações no sentido inverso. O uso do processo inverso é rentável quando existem processos em máquinas que não necessitam da presença do operário como a operação de fixação de punho (e controlo). Apesar de se ter de constituir pequenos *stocks* intermédios, esta solução permitiria poupar o tempo em que o operário se encontra sem efectuar trabalho na operação automática acima mencionada.

5. ANÁLISE EUROCAR

Este capítulo tem como objectivo a análise dos processos de montagem inerentes à cadeira Eurocar. É analisada a situação actual de produção, e são produzidas ferramentas que permitam a equilibragem da linha, de acordo com a taxa de produção necessária. De notar que para este produto foram considerados objectivos distintos dos definidos para o produto descrito nos capítulos anteriores – painel B9. Neste caso não se pretende comparar cenários por simulação, mas sim definir a equilibragem da linha de montagem do produto Eurocar, afectando operações a postos de trabalho, e procurando minimizar os tempos mortos resultantes. Dada a frequência com que é alterada a taxa de produção requerida para este produto pretendia-se ainda possibilitar a reequilibragem da linha de montagem, sempre que se verifica uma alteração da taxa de produção, de uma forma simples.

5.1. Cadeira Eurocar

A cadeira Eurocar, é um tipo de cadeira de criança utilizada nos automóveis.

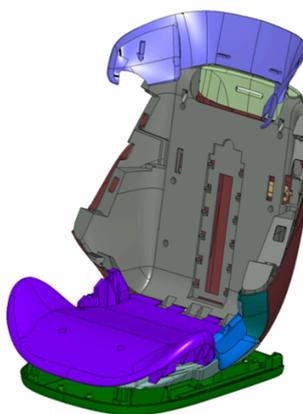


Figura 19 - Cadeira Eurocar

A montagem da cadeira é feita em duas linhas semi-independentes, que convergem para um posto final. Uma das linhas monta o *backrest* da cadeira, e a outra o *seat*. O posto final efectua a montagem do *backrest* com o *seat*, as últimas operações de verificação, assim como a embalagem.

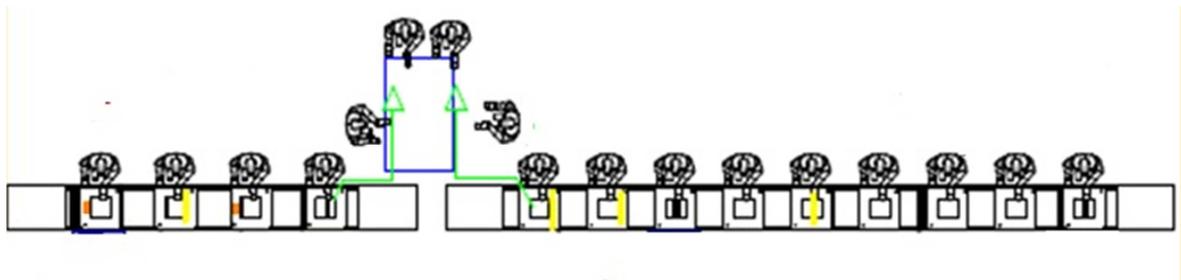


Figura 20 - Layout original produção Eurocar

5.2. Situação actual

Inicialmente a linha de produção Eurocar foi projectada tendo em vista a produção de 1300 cadeiras diárias, empregando um total de 16 operários. Contudo, actualmente, a produção cinge-se pelas 650 unidades, afectando apenas 8 operários. Em qualquer das opções os funcionários trabalham em apenas 1 turno de 8 horas. Esses 8 operários distribuem-se da seguinte forma:

- . 4 operários para montagem de *backrest*
- . 2 operários para montagem de *seat*
- . 1 operário para posto final
- . 1 operário “multiusos” para restabelecimento de stock de peças necessárias

À semelhança do que foi efectuado para a análise do painel B9, o primeiro trabalho efectuado foi a análise do processo de montagem da cadeira Eurocar, através de filmagens disponibilizadas pela empresa. Essas filmagens em conjunto com observação *in loco* do processo permitiram distinguir processos, durações e precedências que possibilitaram caracterizar a montagem do produto. O resumo dessa análise está representado através de uma tabela de cartografia de processos representada na Tabela 11, e por um diagrama de precedências, esquematizado nas Figuras 21 e 22.

Tabela 11 - Cartografia de processo

Nº Op.	Designação Operação	Manual / Automático	Operário	Tipo Op.	Tempo [s]	Obs.
Linha "backrest"					Média	
1	Clipsar o headrest button no headrest adjuster cover (+ colocar mola)	Manual	1		5,243	
2	Encaixar o headrest adjust cover no headrest + Colocar Base	Manual	1		5,569	
3	Colocar 1+1 sliding lock no sentido de fora da peça	Manual	1		4,221	
4	Colocar lubrificante nas guias da peça e colocar mola no headrest handle	Manual	1		6,937	
5	Clipsar headrest handle nos pontos de clipsagem	Manual	1		9,163	
6	Apertar 2 parafusos	Manual	2		14,878	
7	Colocar backrest na base	Manual	2		3,847	
8	Encaixar 1+1 shoulder L e R	Manual	2		11,510	
9	Colocar lubrificante nos shouder L e R	Manual	2		3,886	
10	Encaixar o headrest no backrest e verificar a correcta montagem com o deslizamento do headrest	Manual	2		5,268	
11	Encaixar 1+1 locking insert L&R	Manual	3		16,286	
12	Encaixar backrest cover	Manual	3		2,835	
13	Colocá-la na correcta posição	Manual	3		2,718	
14	Apertar 2 parafusos	Manual	3		10,409	
15	Apertar 6 parafusos	Manual	4		24,823	
16	Encaixar 1+1 belt guide cover R/L	Manual	3		3,096	
17	Levar Peça para posto final	Manual	4		3,992	
Linha "Seat"						
18	Colocar o bottom seat na base	Manual	5		3,232	
19	Colocar mola	Manual	5		5,716	
20	Clipsar o conjunto recline handle	Manual	5			
21	Encaixar o seat no bottom seat	Manual	5		3,38	
22	Apertar 4 parafusos	Manual	5		14,212	
23	Rodar a peça, colocá-la na base	Manual	6		4,238	
24	Encaixar a upper base	Manual	6			
25	Encaixar 1+1 axe e ressort na peça	Manual	6		10,365	
26	Encaixar 4 axle base stud e encaixar ressort	Manual	6		10,686	
27	Clipsar o lower seat	Manual	6		10,319	
28	Levar peça para posto final	Manual	6		1,820	
Posto Final						
29	Encaixar a peça na base	Manual	7		2,036	
30	Com o seat posição fechada verificar possíveis folgas	Manual	7			
31	Com o seat aberto verificar o trancamento	Manual	7		4,641	
32	Verificar o fecho e a abertura usando recline handle	Manual	7			
33	Montar o headrest no seat	Manual	7		5,579	
34	Colocar a cadeira na posição normal e movimentar o headrest nos dois sentidos	Manual	7		5,634	

35	Verificar se o sistema de bloqueio de posição está a funcionar correctamente	Manual	7	◊	
36	Verificar se os mounting should se movimentam em conformidade	Manual	7	◊	
37	Colar etiqueta identificadora	Manual	7	□	3,096
38	Embalar	Manual	7	□	17,138

Os tempos de operação acima representados referem-se a filmagens datadas de Fevereiro de 2011, porém a linha de produção tem sofrido sucessivas melhorias ao nível da disposição mais eficiente das peças necessárias para montagem, o que poderá implicar uma desactualização dos tempos.

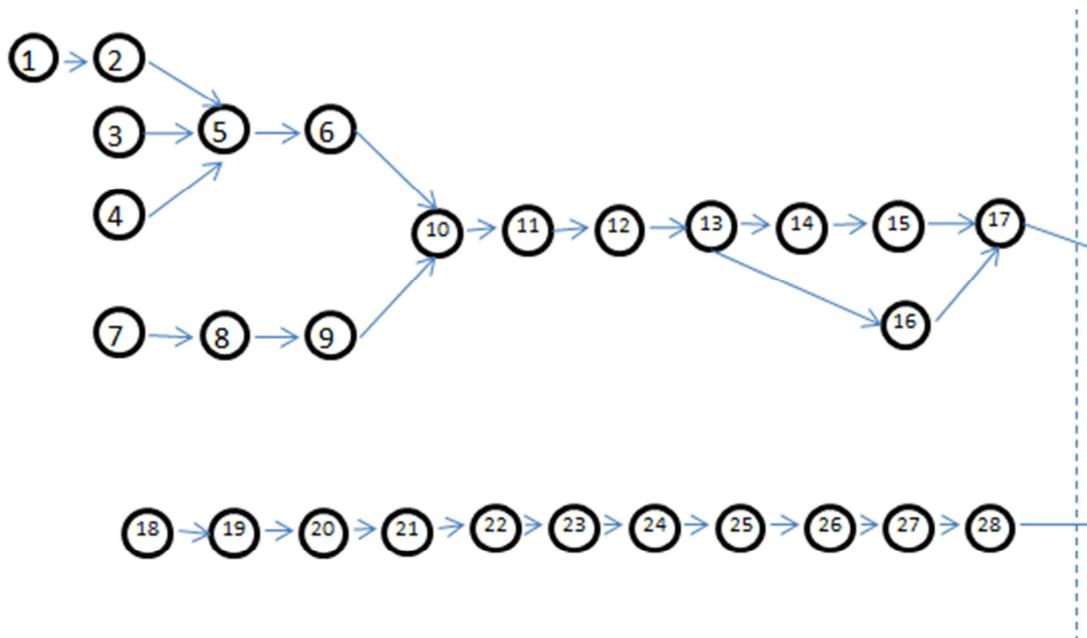


Figura 21 – Diagrama precedências de linhas *backrest* e *seat*.

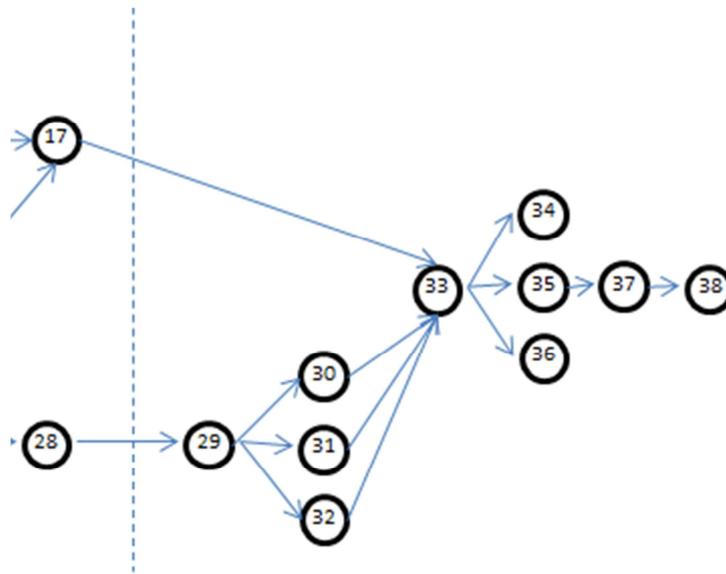


Figura 22 - Diagrama precedências de posto final

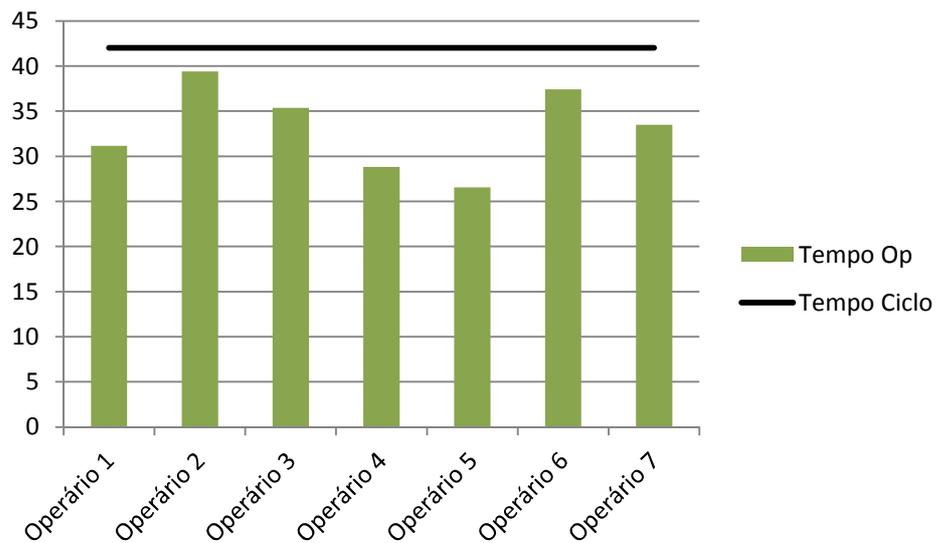


Figura 23 – Gráfico comparativo entre tempos de trabalho dos operários e o tempo de ciclo

Na Figura 23 podemos verificar a existência de tempos mortos significativos entre os vários operários de linha, que podem chegar até perto de 15 segundos no caso do operário 5. No início da análise deste produto foi equacionada uma melhor equilibragem de linha, contudo, foi observado que a linha apresentava já a melhor equilibragem possível para a cadência de produto necessária, pois as relações de precedência de operações não permitem uma equilibragem diferente em que se obtivesse menores tempos mortos.

5.3. Método COMSOAL

A linha Eurocar, apresenta uma flutuação de produção ao longo do tempo, factor que implica uma constante reequilibragem de linha. Dentro do contexto dessa problemática específica, foi programado um algoritmo, baseado no sistema COMSOAL, para equilibragem computadorizada de linha. Para tal foi utilizada a aplicação Visual Basic for Applications, em que o Microsoft Excel funciona como interface.

Como representado na Figura 24, o interface é composto por vários campos que podem ser alterados pelo utilizador:

- . Tempo de ciclo
- . Número de iterações
- . Número de operações
- . Tempos e médias de tempo de operações
- . Precedências de cada operação

Tempo de Ciclo	84,00																			
Numero iterações	100	Equilibrar																		
Análise Operações																				
Numero Operação	Designação Operação																			
		Tempos operação						Precedências												
		1	2	3	4	5	Média	1	2	3	4	5								
1	Clipsar o headrest button no headrest adjuster cover (+ colocar mola)	5,967	5,557	4,081	5,654	4,955	5,243													
2	Encaixar o headrest adjust cover no headrest + Colocar Base	6,094	4,887	5,394	5,388	6,086	5,570	1												
3	Colocar 1+1 sliding lock no sentido de fora da peça	4,896	4,83	3,681	3,931	3,768	4,221													
4	Colocar lubrificante nas guias da peça e colocar mola no headrest hand	8,356	5,734	6,765	6,338	7,494	6,937													
5	Clipsar headrest handle nos pontos de clipsagem	12,524	9,498	7,497	9,275	7,022	9,163	1	2	3	4									
6	Apertar 2 parafusos	17,179	16,566	12,137	13,632		14,879	1	2	3	4	5								
7	Colocar backrest na base	3,918	2,825	4,799			3,847													
8	Encaixar 1+1 shoulder L e R	10,53	11,577	12,423	11,51		11,510	7												
9	Colocar lubrificante nos shouder L e R	4,142	3,845	3,672			3,886	7	8											
10	Encaixar o headrest no backrest e verificar a correcta montagem com o d	3,932	6,81	5,063			5,268	5	6	7	8	9								
11	Encaixar 1+1 locking insert L&R	15,413	15,443	18,001			16,286	5	6	8	9	10								
12	Encaixar backrest cover	3,246	2,737	2,497	2,861		2,835	11	10	9	8	6								
13	Colocá-la na correcta posição	2,28	3,186	2,359	3,047		2,718	12	11	10	9	6								
14	Apertar 2 parafusos	8,529	11,11	11,588			10,409	13	12	11	10	9								

Figura 24 - Interface de equilibragem de linha em Microsoft Excel

Os resultados da equilibragem são tantos, quantas as iterações indicadas pelo utilizador, sendo estes apresentados numa nova folha de Excel como representado na Figura 25. Nela estão apresentadas informações como:

- . Número de postos de trabalho
- . Operações em cada posto de trabalho
- . Tempo morto em cada posto de trabalho
- . Tempo morto final

O tempo morto final é o elemento fundamental de escolha para o utilizador. De acordo com o carácter aleatório do método COMSOAL, as várias iterações poderão conduzir a vários tempos mortos finais, sendo escolhido em princípio a iteração em que o tempo morto total é o mínimo.

Posto 1	Posto 2	Posto 3	Posto 4	Tempo Morto Total
1	6	11	15	33,3
3	8	12	17	
2	9	13		
4	10	14		
5		16	Perda Posto 4	
7			13,19	
	Perda Posto 2			
	6,45	Perda Posto 3		
Perda Posto 1		6,64		
7,02				

Figura 25 – Exemplo de equilibragem obtido pelo algoritmo programado

5.4. Situação futura

A situação futura caracteriza-se por uma produção de apenas 300 cadeiras por dia. A empresa deseja manter o trabalho em apenas 1 turno de 8 horas. Para realizar a equilibragem da linha onde será montado o *backrest* recorreu-se ao *software* acima descrito, considerando que:

$$Takt\ Time = 84 [s]$$

Os resultados obtidos encontram-se apresentados na Figura seguinte, verificando-se que para a taxa de produção pretendida serão necessários dois operadores. Tendo em atenção os tempos mortos obtidos, a taxa de ocupação global da linha cifra-se nos 80%.

Posto 1	Posto 2	Tempo Morto Total
1	11	33,3
2	12	
3	13	
4	14	
5	15	
6	16	
7	17	
8		
9		
10	Perda Posto 2	
	19,83	
Perda Posto 1		
13,47		

Figura 26 - Equilibragem linha *backrest*

Como a linha do *seat* apresenta uma cadeia linear de precedências, não faz sentido usar o método COMSOAL para equilibrar a linha. Deste modo equilibramos a linha directamente por uma divisão entre soma dos tempos de operações e o *takt time*.

$$\text{Numero de postos} = \frac{\text{soma de tempos de operações}}{\text{takt time}} = \frac{63,97}{84} \approx 1$$

Deste modo para a linha do *seat* será necessário apenas 1 funcionário, apresentado este uma taxa de ocupação na ordem dos 76%.

A equilibragem do posto final tem de ter em conta que as operações no posto final podem ser divididas em 2 categorias:

1. Montagem final e verificações de qualidade (18,23 [s])
2. Embalagem (15,27 [s])

Tanto o último operário da linha *backrest*, como o operário da linha *seat* têm tempos mortos na ordem dos 20 [s]. Deste modo, as operações de verificação e montagem final podem ser alocados ao último operário da linha *backrest*, e a operação de embalagem ao operário da linha *seat*.

Em conclusão, com a nova taxa de produção, a linha poderá ser equilibrada utilizando 3 funcionários, sendo que os operários finais de cada uma das sub-linhas ficarão encarregues de funções adicionais no posto final, não necessitando este posto de um operário dedicado. Deste modo a taxa de ocupação global de toda a linha de montagem irá aumentar.

6. CONCLUSÕES

Neste capítulo são resumidas as conclusões finais para cada tipo de produto analisado anteriormente.

6.1. B9

O objectivo passa pelo estudo do *layout* mais rentável para a empresa: se a produção deve ser efectuada logo à saída da máquina de injeção (situação actual), ou, por outro lado, os painéis devem ser acumulados em *stock* e levados para uma linha dedicada (alternativa 1). Além destes dois cenários, foi analisado um cenário intermédio entre as duas soluções acima descritas (alternativa 2). Para a sua análise foi utilizada simulação de operações de modo a comparar as 3 opções produtivas. A simulação foi suportada através de um trabalho de base de recolha de informação das operações através de vídeos e observação *in loco*, e posteriormente avalizada pelos responsáveis da empresa.

A avaliação das alternativas foi realizada tendo em conta 4 parâmetros:

1. Custo de MOD.
2. Custos logísticos.
3. Taxas de ocupação de operários e máquinas.
4. Taxa de produção horária máxima da linha.

Sendo que a taxa de produção horária da linha funciona como factor exclusivo se a taxa de 80 painéis hora não for atingida.

6.1.1. Custos MOD

Em relação aos custos de MOD, a alternativa 1 representa uma diminuição de 18% dos custos, enquanto a alternativa 2 representa uma diminuição de 35%. A diminuição de custos é conseguida através de eliminação do uso de um terceiro turno de produção, que implica o corte das bonificações de subsídio de turno, e pela diminuição do número de operários utilizados que no caso da alternativa 1 é de um funcionário, e na alternativa 2, 3 funcionários.

6.1.2. Custos logísticos

No caso dos custos logísticos acontece o inverso, a opção pela utilização de qualquer uma das alternativas pressupõe um aumento de custos. Na avaliação deste ponto foram utilizados factores como quantidades de *stock* e área para estimar este custo, sendo que estes factores só por si não permitem a avaliação completa dos custos logísticos. Porém, a análise deste ponto em profundidade não fazia parte dos objectivos essenciais do trabalho. De qualquer modo, a alternativa 1 seria aquela em que os custos logísticos seriam mais elevados: maior necessidade de *stock* - 120 contentores, maior área de armazenamento em armazém - 62m², e maior movimentação de contentores. A alternativa 2 exigiria um *stock* de 40 contentores e uma área de armazenamento de 21,84m².

6.1.3. Taxas de ocupação

A taxa de ocupação dos operários nas alternativas subiu consideravelmente em relação à situação actual, passando de taxas de ocupação de cerca de 60% para mais de 80%. O facto das taxas de trabalho, em conjunto com as taxas de transporte apresentarem valores próximos dos 100% de ocupação pode levantar problemas de viabilidade das alternativas. Contudo, segundo a filosofia *Kaizen*, quando se projectam linhas de trabalho, estas devem ser dimensionadas para 100% de ocupação de funcionários, de modo a obrigar a uma melhoria contínua do processo.

6.1.4. Taxa de produção

Finalmente a taxa de produção como já foi referido, é um factor limitativo na escolha de alternativas. Para que seja viável, a produção tem de igualar os 80 painéis por hora. Aqui as alternativas apresentam resultados divergentes. Na alternativa 1, a produção queda-se por valores próximos de 80, porém um pouco inferiores, que sendo assim eliminaria a escolha deste cenário. Porém como já referido anteriormente, o uso do processo reverso na sequência de operações do segundo operador, ou o uso de tempo extraordinário para completar as operações dos painéis que se encontram em *stock*

intermédio antes da máquina de soldadura poderiam viabilizar o uso desta alternativa. Em relação à alternativa 2, a opção pela existência de *stock* intermédio antes da máquina de soldadura, pode ser descartada devido à quantidade de stock que se iria acumular por cada hora de trabalho – em média 35 peças, resultado da heterogenia de tempos de trabalho do operário 1. Pelo contrário, quando o operador 1 espera que a máquina de soldar fique vaga para completar o seu ciclo de tarefas, os resultados obtidos satisfazem a cadência de produção necessária – 81,39 painéis por hora.

6.1.5. Conclusão final

O uso da alternativa 2, na situação em que existe controlo de stock antes de máquina de soldadura, apresenta-se como um modelo viável para a substituição da actual solução de produção do painel B9. Esta conclusão baseia-se nos seguintes factos:

1. A taxa de trabalho dos operadores é superior à da situação actual, o que significa uma maior eficiência de utilização dos operários.
2. Os custos de mão-de-obra directa são 35% inferiores em relação à situação actual.
3. A taxa de cadência necessária para redução de turnos de trabalho é atingida, sem recurso a horas extraordinárias.
4. O *layout* de produção é em tudo semelhante à situação actual, exceptuando a introdução de alguns contentores previamente colocados em *stock*, permitindo uma rápida adaptação de todos os intervenientes ao processo.

O processo traz também alguns inconvenientes como:

1. A introdução de painéis com diferentes níveis de trabalho realizado, introduz heterogenia nos ciclos de trabalho do operário 1.
2. Mais custos logísticos devido à necessidade de stock de painéis: área de armazenamento, gestão de armazém e movimentação de contentores.

6.1.6. Outras considerações

Em ambas as alternativas foi observado que um factor que limita a produção é a operação de embalagem de contentores que acontece de 12 em 12 painéis, que penaliza os tempos de operação do operário 2. Uma das soluções para este facto seria atribuir estas operações a operários extra linha: operários que efectuem o transporte de contentores ou materiais. O uso de sistemas de controlo RFID, poderia também evitar as operações de controlo efectuadas pelo segundo operário.

O aumento da cadência de produção da máquina de injeção poderia também aumentar a rentabilidade da linha sem recurso à acumulação de *stock*. Contudo, este cenário foi descartado pela empresa pois a máquina de injeção encontra-se já na sua máxima capacidade de produção.

Um dos problemas que o uso das alternativas pode gerar, é a possibilidade do operário que acumula o *stock* conseguir trabalhar simultaneamente com as duas linhas, com tempos de ciclo de 30s. Para que tal aconteça teria de existir uma reestruturação do *layout*, de modo a evitar os deslocamentos do operário entre as duas linhas de injeção. Durante a elaboração do trabalho, este facto foi comunicado à empresa, e para efeitos de estudo foi admitido que o operário consegue operar simultaneamente com as duas linhas.

6.2. Cadeira Eurocar

A finalidade do estudo deste produto é diferente do realizado para o painel B9. A linha é caracterizada por constantes variações de produção ao longo do tempo de modo que o trabalho incide na definição da equilibragem de linha de montagem, afectando operários a postos de trabalho.

A análise do processo iniciou-se do mesmo modo que para o painel B9: pela visualização de vídeos e observação *in loco* do processo de modo a caracterizar as operações. Contudo neste caso, o trabalho consistiu na elaboração de ferramentas que permitam a equilibragem de linhas de maneira simples e prática, útil para as constantes variações de produção do produto. Foi programado então um algoritmo, baseado no método COMSOAL, usando como interface o Microsoft Excel. Aproveitando o facto de a linha de montagem brevemente mudar a sua taxa de produção, o programa concebido, foi testado para esta nova situação.

O resultado da equilibragem foi a utilização de 3 funcionários repartidos do seguinte modo:

- . 2 operários na linha de montagem *backrest*.
- . 1 operário na linha de montagem *seat*.

No posto final, visto que os operários finais, de ambas as sublinhas apresentam tempos mortos elevados, poderão dividir entre si as operações do posto final, não necessitando assim de operário adicional. Este facto irá ainda elevar a taxa de ocupação global da linha.

6.3. Perspectivas futuras

Existem alguns trabalhos que poderiam completar ainda o estudo realizado durante a elaboração da tese entre os quais:

- . O estudo aprofundado do custo da logística associada tanto à situação actual do painel B9, como das suas alternativas aqui apresentadas, de modo a ter-se um custo quantitativo associado, que permita a comparação de alternativas.

- . Um estudo logístico que relacione todos os materiais necessários para a montagem do painel, de modo a se conseguir uma abordagem geral ao problema.
- . O estudo da ergonomia dos processos, de modo a se identificarem melhorias a este nível que permitam posteriormente a redução dos tempos das operações.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Assis, R., Figueira, M. (1992), “Microflow, Produção Just-in-Time”, 1ª edição, IAPMEI
- Courtois, A., Pillet, M., Martin-Bonnefous, C. (2007), “Gestão de Produção”, 5ª edição, LIDEL
- Harris, R., Rother, M. (2002), “Criando Fluxo Contínuo”, Versão 1.0, LEAN Institute Brasil
- Hauge, J.W., Paige, K.N. (2004) “Learning Simul8: The Complete Guide”, Second Edition, PlainVu Publishers
- Law, A.M., Kelton, W.A. (2000) “Simulation Modeling and Analysis”, 3rd Edition, McGraw-Hill
- Manual Pedagógico PRONACI “Métodos e Tempos”, Associação Empresarial de Portugal
- http://pme.aeportugal.pt/Aplicacoes/Documentos/Uploads/2005-03-08_15-31-16_Metodos%20e%20Tempos.pdf
- Norberto Pires, J, “Automação Industrial”. 4ª edição, ETEP.
- Ohno, T. “Sistema Toyota de Produção”, Bookman
- Silva, C. (1994), “Estudo de Modelos Utilizados na Equilibragem de Linhas de Montagem. Aplicação a Um Caso Industrial”. Tese de Mestrado em Engenharia Mecânica, Departamento de Engenharia Mecânica, Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade de Coimbra, Coimbra.
- Suzaki, K. (2010), “Metodologias Kaizen para Melhoria Contínua”, 1ª edição, LeanOp.
- Viegas, A.M. (2009), “Análise de fluxo de produção e respectivo “layout” fabril recorrendo à simulação por eventos discretos”. Tese de Mestrado em Engenharia e Gestão Industrial, Departamento de Engenharia Mecânica, Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade de Coimbra, Coimbra.

Outras referências:

Slides da cadeira de Simulação de Operações, Professor Doutor Cristóvão Silva.

Slides da cadeira de Gestão de Produção, Professor Doutor Cristóvão Silva.

8. ANEXO A

Nº	Descrição Operações	Periodicidade	Operário	Média [s]	Média [s]
				Painel de Máq. Injecção	Painel de Stock
1	Colectar Painel Contentor	1	1		5,000
2	Deslocamento Inicial	1	1	2,845	
3	Retirar excessos de injecção	1	1	2,085	
4	Inspecção visual	1	1	5,013	
5	Transporte painel para bancada de trabalho	1	1		
6	Espanja	1	1	3,785	3,785
7	Colectar grampos plásticos	1	1	2,445	
8	Colocar grampos no painel	1	1	9,905	
9	Colectar grampo metálico	1	1	5,500	5,500
10	Colocar grampo tipo 2 no painel	1	1		
11	Marcação painel	1	1	1,538	1,538
12	Colectar Pocket	1	1	2,565	2,565
13	Transporte	1	1	2,710	2,710
14	Carregamento painel	1	1	2,715	2,715
15	Agarrar e colocar peça 2 na máquina de soldadura	1	1	3,195	3,195
16	Soldar	1	Auto.	24,025	24,025
17	Descarregar	1	2	3,505	3,505
18	Transporte	1	2		
19	Agarrar e colocar peça 3	1	2	2,783	2,783
20	Fixação peça 3/Controlo	1	Auto.		
21	Retirar e colocar película de protecção	1	2		
20+21	(Processos simultâneos)			18,335	18,335
22	Inspecção visual	1	2	10,180	10,180
23	Transporte para palete	1	2		
24	Deslocamento Inicial	1	2	2,990	2,990
25	Cartão + Fechar Palete	12	2	6,244	6,244
26	Cartão + Tampo	12	2	4,764	4,764
27	Etiqueta	12	2	16,887	16,887
28	Leitura	12	2	6,168	6,168
29	Mover Palete	12	2	6,048	6,048

Nota: Os tempos colocados em células coloridas, não foram medidos. Foram admitidos tempos de operação aproximados.

9. ANEXO B

Nº	Descrição Operações	Periodicidade	Operário	Média
1	Colectar Painel Contentor	1	1	5
2	Colocar película protectora	1	1	14,860
3	Virar Painel	1	1	2
4	Esponja	1	1	3,785
5	Colectar grampo metálico	1	1	5,500
6	Colocar grampo tipo 2 no painel	1	1	
7	Marcação painel	1	1	1,538
8	Colectar <i>Pocket</i>	1	1	2,565
9	Transporte	1	1	2,710
10	Carregamento painel	1	1	2,715
11	Agarrar e colocar peça 2 na máquina de soldadura	1	1	3,195
12	Soldar	1	Auto.	24,025
13	Descarregar	1	2	3,505
14	Transporte	1	2	
15	Agarrar e colocar peça 3	1	2	2,783
16	Fixação peça 3/Controlo	1	Auto.	
17	Retirar e colocar película de protecção	1	2	
16+17	(Processos simultâneos)			18,335
18	Inspecção visual	1	2	10,180
19	Transporte para palete	1	2	
20	Deslocamento Inicial	1	2	2,990
21	Cartão + Fechar Palete	12	2	6,244
22	Cartão + Tampo	12	2	4,764
23	Etiqueta	12	2	16,887
24	Leitura	12	2	6,168
25	Mover Palete	12	2	6,048

Nota: Os tempos colocados em células coloridas, não foram medidos. Foram admitidos tempos de operação aproximados.

10. ANEXO C

```
Dim Nprec(1 To 200) As Variant
```

```
Dim NomeOp(1 To 200) As String
```

```
Dim TempoOp(1 To 200) As Double
```

```
Dim Prec(1 To 199, 1 To 199) As String
```

```
Dim NumeroOP As Variant
```

```
Sub InfoExcel() 'retira info do excel
```

```
'Contar operações
```

```
J = 0
```

```
NumeroOP = 0
```

```
Do
```

```
    If Sheet1.Cells(10 + J, 3) <> "" Then 'coluna número de operações
```

```
        NumeroOP = NumeroOP + 1
```

```
    End If
```

```
    J = J + 1
```

```
Loop Until Sheet1.Cells(10 + J, 3) = ""
```

```
'Contar Precedências
```

```
For i = 1 To NumeroOP
```

```
    Nprec(i) = 0
```

```
    For J = 12 To 16
```

```
        If Sheet1.Cells(9 + i, J) <> "" Then 'linhas e colunas precedências
```

```
            Nprec(i) = Nprec(i) + 1
```

```
        End If
```

```
    Next J
```

```
Next i
```

```
'Memorizar Nomes Operações
```

```
For i = 1 To NumeroOP
```

```
    NomeOp(i) = Sheet1.Cells(9 + i, 3) 'coluna número de operações
```

```
Next i
```

```
'Memorizar Tempos Operações
For i = 1 To NumeroOP
    TempoOp(i) = Format$(Sheet1.Cells(9 + i, 11), "#,##0.00") 'coluna médias
Next i

'Memorizar Precedências
For i = 1 To NumeroOP
    For J = 12 To 16
        Prec(i, J - 11) = Sheet1.Cells(9 + i, J) 'linhas e colunas precedências
    Next J
Next i
End Sub

Private Sub CommandButton1_Click()

Dim ListaA(1 To 200, 2) As Variant
Dim Resposta(1 To 200, 1 To 200) As Variant
Dim Oper(1 To 200) As Variant
Dim Tc As Variant
Dim Nop As Variant
Dim Op As Variant
Dim Postos As Variant
Dim Perdas(1 To 200) As Variant
Dim Totperdas As Variant

For it = 1 To Val(Sheet1.Cells(3, 4))
    InfoExcel

'Mostragem de dados

'Construção Tabela Com Numero Precedência de cada operação
Postos = 1
Nop = 0
Op = 1
Tc = Format$(Sheet1.Cells(2, 4), "#,##0.00") 'Célula de valor de tempo de ciclo
```

```

Do
  N = 0
  For i = 1 To NumeroOP
    ListaA(i, 1) = NomeOp(i)
    ListaA(i, 2) = Nprec(i)
    If Val(ListaA(i, 2)) = 0 Then
      N = N + 1 'Numero operações sem precedência
    End If
  Next i

  'Construção lista contendo as operações sem precedências e tempo inferior ao tempo
  disponível no posto
  ReDim ListaB(0 To N, 1 To 3)
  J = 0
  For i = 1 To NumeroOP
    If Val(ListaA(i, 2)) = 0 And TempoOp(i) < Tc Then
      J = J + 1 ' Operações em condições de entrar
      ListaB(J, 1) = ListaA(i, 1)
      ListaB(J, 2) = TempoOp(i)
      ListaB(J, 3) = i
    End If
  Next i

  If J > 0 Then
    Nop = Nop + 1
    Randomize
    Al = Int((J - 1) * Rnd) + 1
    Tc = Tc - ListaB(Al, 2)
    Resposta(Op, Postos) = ListaB(Al, 1)
    Op = Op + 1

    'Atualizar número precedências
    A = 1
    For i = 1 To NumeroOP
      If ListaB(Al, 1) = Prec(i, 1) Or ListaB(Al, 1) = Prec(i, 2) Or ListaB(Al, 1) = Prec(i, 3) Or
        ListaB(Al, 1) = Prec(i, 4) Or ListaB(Al, 1) = Prec(i, 5) Then

```

```

        Nprec(A) = Nprec(A) - 1
        A = A + 1
    Else
        A = A + 1
    End If
Next i
    Nprec(ListaB(AI, 3)) = Nprec(ListaB(AI, 3)) + 1
Else
    Oper(Postos) = Op
    Perdas(Postos) = Tc
    Postos = Postos + 1
    Op = 1
    Tc = Format$(Sheet1.Cells(2, 4), "#,##0.00")
'Apenas para controlo em caso de erro
If Postos > 30 Then
    Exit Sub
End If
End If
Loop Until Nop = NumeroOP
Perdas(Postos) = Tc
Oper(Postos) = Op

'Escrever equilíbream
Totperdas = 0
For M = 1 To Postos
    For k = 1 To Oper(M)
        Sheet2.Cells(20 * it, M) = "Posto" & " " & M
        Sheet2.Cells(k + 20 * it, M) = Resposta(k, M)
    Next k
    Totperdas = Totperdas + Perdas(M)
    Sheet2.Cells(k + 20 * it + 1, M) = "Perda Posto" & " " & M
    Sheet2.Cells(k + 20 * it + 2, M) = Perdas(M)
Next M
Sheet2.Cells(20 * it, M + 1) = "Tempo Morto Total"
Sheet2.Cells(20 * it + 1, M + 1) = Totperdas
Next it
End Sub

```