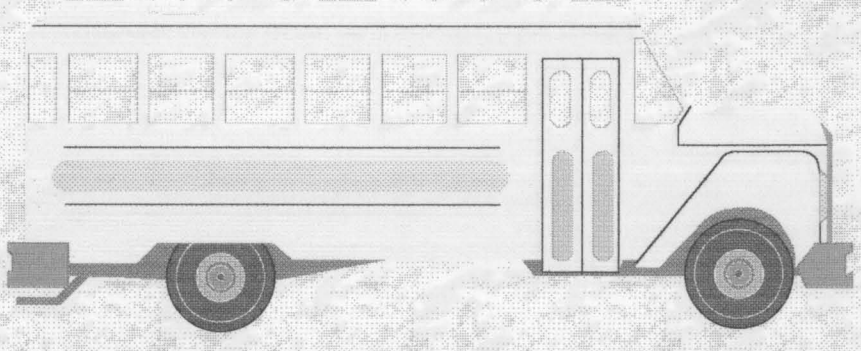
UNIVERSIDADE DO PORTO
Licenciatura de Gestão e Engenharia Industrial

Relatório de Estágio
realizado na Empresa
Salvador Caetano, S.A.



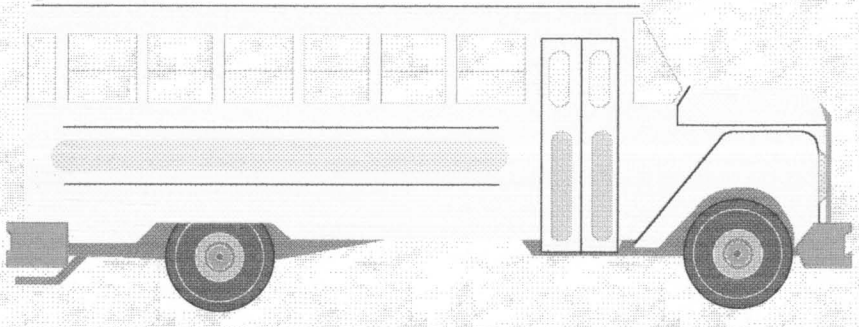
ESTUDO DE OPTIMIZAÇÃO DA LINHA DE MONTAGEM DE AUTOCARROS

José Nuno Leite Dias Cunha
Setembto de 1995

621(047.3)DEMEGI
GEI513 1995/CUNj

UNIVERSIDADE DO PORTO
Licenciatura de Gestão e Engenharia Industrial

Relatório de Estágio
realizado na Empresa
Salvador Caetano, S.A.

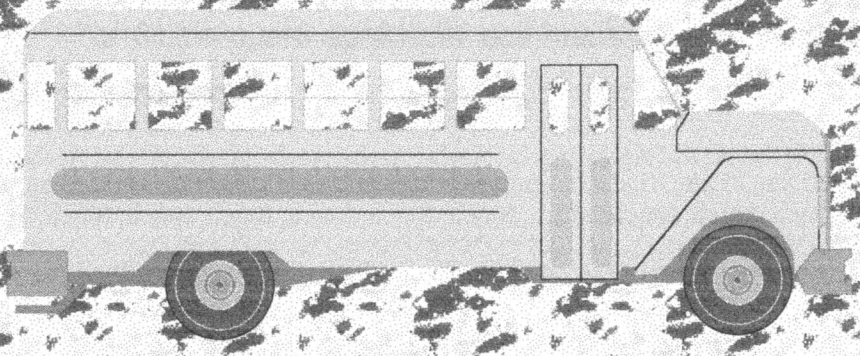


ESTUDO DE OPTIMIZAÇÃO DA LINHA DE MONTAGEM DE AUTOCARROS

José Nuno Leite Dias Cunha
Setembto de 1995

UNIVERSIDADE DO PORTO
Licenciatura de Gestão e Engenharia Industrial

Relatório de Estágio
realizado na Empresa
Salvador Caetano, S.A.



ESTUDO DE OPTIMIZAÇÃO DA LINHA DE MONTAGEM DE AUTOCARROS

José Nuno Leite Dias Cunha

Setembro de 1995

Universidade do Porto
Faculdade de Engenharia
Biblioteca

621(047.3)/DEMEGI/GEI513 1995/CUN3
Universidade do Porto
Faculdade de Engenharia
Biblioteca
Nº 68049
CDU 621(047.3)
Data 1/8/2003

AGRADECIMENTOS

Quero agradecer a excelente e pronta colaboração prestada por todos os colaboradores da Salvador Caetano, S.A., principalmente do gabinete de Engenharia de Produção.

Agradeço também a orientação prestada pelo Srº Engº Jorge Quinta na elaboração deste trabalho na empresa, assim como do Srº Profº Pina Marques na F.E.U.P.

Quero deixar, também um agradecimento muito especial ao Srºs Moura Guedes, Manuel Alves, Manuel Abelhas, Manuel Palhas, Fernando Fernandes e Paulo Cunha pela forma como me auxiliaram e integraram no grupo de trabalho, assim como os meus colegas estagiários Rui Barreiro e Júlio Moreira.

Por último quero agradecer aos meus pais, à Joana e à Cris todo o apoio que me deram.

Jmo Cunha.

NOTA INTRODUTÓRIA

Como parte integrante da Licenciatura em Gestão e Engenharia Industrial, foi-me proporcionado um estágio na empresa Salvador Caetano-I.M.V.T., S.A. em substituição do 2ºsemestre deste curso. Este estágio foi iniciado em 1 de Março de 1995, tendo uma duração inicial prevista de 6 meses, acabou por ter uma duração de apenas 4 meses e 3 semanas devido a problemas de saúde.

No decorrer deste estágio foi-me proporcionado, por sugestão do SrºEngºQuinta, o contacto com todos os departamentos da empresa. Percorri, segundo um plano pré-estabelecido por ele, os seguintes departamentos da empresa: DGA (Departamento de Produção), DGE (Departamento de Desenvolvimento e Projecto), DGC (Departamento de Planeamento e Controlo de Produção) e DGQ (Departamento da Qualidade). A passagem por estes departamentos deu-me a oportunidade de conhecer todos os agentes envolvidos no processo de fabrico, assim como, a sua contribuição para o produto final. Para além destes aspectos foi muito importante o contacto com a realidade laboral, e a sensibilização para a importância das relações inter-pessoais no trabalho.

Numa primeira fase deste relatório faz-se uma pequena apresentação da empresa assim como da situação actual de um sector da linha de montagem, numa segunda fase vai ser apresentado o método proposto para a resolução do problema, os resultados alcançados, assim como algumas conclusões e sugestões.

ÍNDICE

1 - TEMA DE ESTÁGIO 3

2 - MOTIVO DA ESCOLHA DA SECÇÃO 04 4

3 - APRESENTAÇÃO DA EMPRESA 7

4 - ALGUNS NÚMEROS DA EMPRESA 9

5 - APRESENTAÇÃO DO OPTIMO III 11

6 - DEFINIÇÃO DO OBJECTIVO DE EQUILIBRAGEM DA LINHA DE MONTAGEM
- 6.1. - INTRODUÇÃO 14
- 6.2. - CARACTERIZAÇÃO DA LINHA DE MONTAGEM 15
- 6.3. - O PROBLEMA DETERMINÍSTICO DE EQUILIBRAGEM 15

7 - MÉTODOS UTILIZADOS PARA A RESOLUÇÃO DE PROBLEMAS DE EQUILIBRAGEM
- 7.1. - TRIAL AND ERROR 18
- 7.2. - HEURÍSTICAS 19
- 7.3. - PROGRAMAÇÃO LINEAR INTEIRA 23
- 7.4. - PROGRAMAÇÃO DINÂMICA 24

8 - DESCRIÇÃO DO CASO PRÁTICO
- 8.1. - SECÇÃO 04 27
- 8.2. - DESCRIÇÃO DO PROCESSO DE ESMALTAGEM 28

9 - METODOLOGIA UTILIZADA NO BALANCEAMENTO DA LINHA
- 9.1. - MOTIVO DA ESCOLHA DO MÉTODO 31
- 9.2. - EXEMPLO TEÓRICO 32

10 - EQUILIBRAGEM DA LINHA
- 10.1. - CONSIDERAÇÕES INICIAIS 36
- 10.2. - DESCRIÇÃO DA APLICAÇÃO 39

11 - APRESENTAÇÃO E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS 41

12 - CONCLUSÃO E COMENTÁRIOS 45

BIBLIOGRAFIA

ANEXOS

1 - TEMA DE ESTÁGIO

O trabalho inicialmente proposto pela empresa para este estágio consistia na elaboração de um estudo de viabilidade técnico-económica para a instalação de uma 3ªlinha de montagem para o modelo OPTIMO III, nas instalações da divisão fabril de Gaia. No entanto, devido a uma mudança estratégica da empresa, a produção do OPTIMO III vai ser transferida para o pólo de Ovar. Devido a este facto, por sugestão do SrºProfºPina Marques e com o acordo do SrºEngºJorge Quinta, foi proposto como novo tema de estágio a optimização da actual linha de montagem do OPTIMO III. Este trabalho tem particular interesse já que os seus resultados poderão auxiliar e ser utilizados na produção do OPTIMO III na linha de montagem de Ovar.

O estudo de optimização da linha foi restringido à secção de pintura. As razões que motivaram esta escolha serão apresentadas posteriormente neste relatório.

Sendo o processo de construção de um autocarro bastante extenso e complexo, não seria possível em tão pouco tempo de permanência na empresa, analisar e propor grandes alterações por forma a eliminar os *ineficiências* do processo produtivo. Como tal, a intenção foi criar um método expedito, não muito complexo que permita equilibrar a linha de uma forma mais eficiente.

2 - MOTIVO DE ESCOLHA DA SECÇÃO 04

Depois de observar alguns valores relativos aos tempos de permanência dos autocarros nas diversas secções que constituem a linha de montagem, pude concluir que a secção 04 ultrapassa normalmente os tempos pré-estabelecidos pelo planeamento da produção. Esta situação foi constatada através da análise que fiz aos dados fornecidos pelo sistema AS/400[1], estes dados são apresentados no Quadro1 e no Gráfico 1.

TEMPOS PREVISTOS/REAIS

OF's	SECÇÃO 04		
	Objectivo	Real	Diferença
551001	132	141	9
551002	132	142	10
551003	132	150	18
551004	132	138	6
551005	132	135	3
551006	132	137	5
551007	132	130	-2
551008	132	161	29
551009	132	150	18
551010	132	142	10
551011	132	150	18
551012	132	150	18
551013	132	166	34
551014	132	145	13
551015	132	147	15
551016	132	149	17
551017	132	155	23
551018	132	146	14

[1] Sistema de informação da Salvador Caetano

551019	132	158	26
551020	132	160	28
551021	132	147	15
551022	132	154	22
551023	132	150	18
551024	132	163	31
551025	132	189	57

Quadro 1

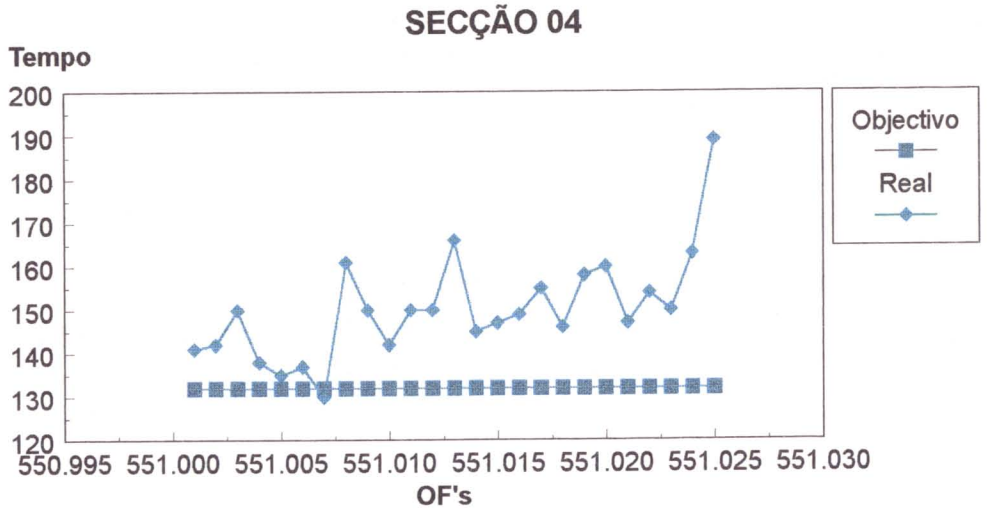


Gráfico 1

Nesta amostra onde estão representadas 25 ordens de fabrico, verificamos que apenas na OF 551007 foi cumprido o prazo pré-estabelecido pelo planeamento, verificamos também, por inspecção do gráfico 1, que o comportamento dos tempos de esmaltagem apresentam uma tendência preocupante de crescimento, aumentando gradualmente o fosso entre os tempos reais e os pré-estabelecidos. Foi principalmente por esta razão que decidi centralizar o meu estudo nesta secção da linha de montagem.

Por inspecção directa do processo produtivo, pudemos constatar que existe uma elevada taxa de defeitos de pintura, principalmente provocados pela passagem dos carros pela secção 06 e por um elevado teor de poeiras no ar

devido à lixagem dos mesmos. Esta constatação é reforçada quando observamos um relatório elaborado pelos controladores de qualidade (vêr Anexo 1). Na secção, aconteceu mesmo casos de carros que tiveram que ser integralmente esmaltados, com os respectivos custos e atrasos associados a esta situação.

Além das razões apresentadas, é importante salientar que nesta parte da linha são "misturados" todo o tipo de autocarros produzidos pela empresa. Esta situação provoca diversas filas de espera, que são causadas, quer pelo próprio processo de pintura que exige a passagem dos carros pelas estufas para a aplicação de primário, sub-capa e esmalte, quer pela movimentação dos carros através de uma ponte rolante.

No que diz respeito à escolha do modelo, esta foi motivada pelo facto do OPTIMO III UK ser o produto mais 'standarizado' em produção pela Salvador Caetano, daí também a existência de um volume de informação maior e mais actualizada ácerca deste modelo.

3 - APRESENTAÇÃO DA EMPRESA

A Salvador Caetano, Indústrias Metalúrgicas e Veículos de Transporte, S.A. é uma empresa fundada em 1946, que inicia a sua actividade na indústria de Carroçarias de Autocarros. Actualmente, e na sua divisão fabril de Gaia, a empresa desenvolve as seguintes actividades industriais:

1. Autocarros Caetano - Tipo autoportantes com especificações próprias tanto para o mercado interno e externo.
2. Carroçarias Caetano - Carroçarias montadas nos mais diversos chassis, nomeadamente da marca MAN, Pegaso, Iveco/Fiat, DAF e outros, com as mais diversas exigências dos mercados interno e externo.
3. Trolley-Carros Caetano - Do tipo autoportantes e destinados ao transporte urbano.
4. Componentes para veículos Automóveis - Destinados à incorporação em veículos automóveis.

Paralelamente a estas actividades, a Salvador Caetano - I.M.V.T., S.A., desenvolve a actividade comercial, de assistência técnica e exportadora, tanto de produtos acabados como de componentes.

As actividades industriais da empresa exercem-se em dois pólos principais (um em Vila Nova de Gaia e outro em Ovar), estes dois pólos, conjuntamente, prefazem uma área total de 440.445 **m 2**, com uma área coberta de cerca de 80.000 **m 2**.

No que diz respeito à comercialização do seus produtos, esta actividade é desenvolvida de forma directa e indirecta - sendo esta feita através de empresas associadas e de uma rede de concessionários independentes.

É importante referir que a actividade exportadora de autocarros constitui uma forte aposta da empresa, principalmente para o mercado inglês, espanhol e francês, além de outros tais como: Áustria, Alemanha, Médio Oriente, Palop´s, etc.

A repartição das diferentes áreas de actividade da empresa e a estrutura organizativa da divisão fabril de produção de autocarros podem ser observadas no Anexo 2.

Para concluir é importante salientar que esta empresa encontra-se, actualmente, certificada pela norma ISO 9002, e que tem por objectivo atingir, em 1996, a qualificação de empresa de excelência.

4 - ALGUNS NÚMEROS DA EMPRESA [⌘]

Neste ponto, são apresentados dois gráficos que ilustram a produção de carroçarias desta empresa entre 89 e 93, assim como o nº de colaboradores da divisão fabril nestes mesmos anos. Também apresentamos um gráfico que pretende demonstrar a diversidade de produtos produzidos por esta empresa.

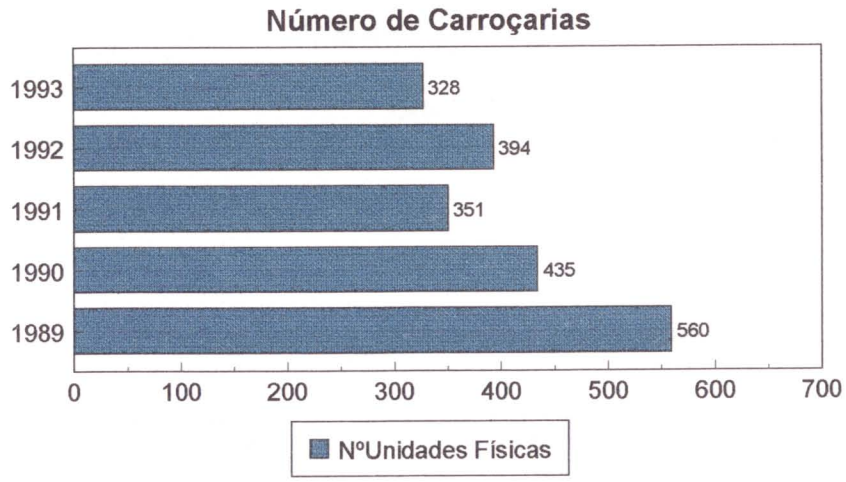


Gráfico 2

[⌘] Dados retirados do Relatório de Contas de 1993

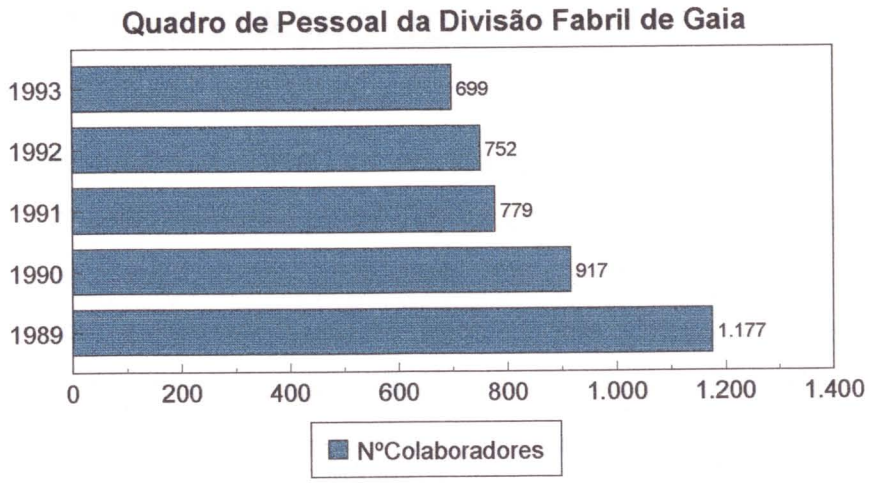


Gráfico 3

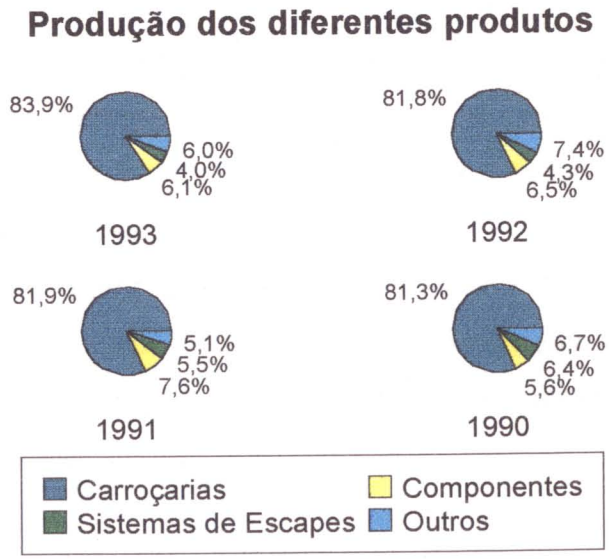


Gráfico 4

5 - APRESENTAÇÃO DO OPTIMO III

O miniautocarro OPTIMO III resulta da combinação entre a carroçaria Caetano e o chassis de passageiros Toyota Coaster. Este miniaotocarro recorre a uma caixa de 5 velocidades, combinada com o motor turbo-diesel Toyota de 4 litros, 6 cilindros e injecção indirecta. Este modelo possuí direcção assistida e atinge um raio mínimo de viragem de 7 m. A qualidade do OPTIMO III começa com a montagem do chassis e sua protecção anticorrosiva por electrodeposição. Seguindo o mesmo princípio, também a estrutura da carroçaria é protegida da corrosão através de uma pintura exterior com primário anticorrosivo e interiormente com aplicação de inibidor de corrosão (DINOL ou TECTIL).

Também no interior o OPTIMO III apresenta pormenores tais como: quadro de instrumentos, porta automática de comando eléctrico e com sistema antientalamento, equipamento de desembaciamento e de aquecimento do salão, iluminação interior flurescente, vidros curvos e coloridos, bancos fixos ou reclináveis de grande comodidade e bagageiras interiores de design moderno para os pequenos objectos pessoais.

É importante referir que a Salvador Caetano criou diversas versões de carroçaria - Standard, Luxo, Urbano e Especial para defecientes.

Os quadros e as figuras abaixo representados, mostram as características técnicas deste modelo[2].

MOTOR	
Tipo	6 cilindros em linha Toyota 1 HZ-T
Diâmetro e curso (mm)	94x100
Cilindrada (cc)	4164
Potência máxima CV/rpm	132/3600 (EEC)
Binário máximo Nm/rpm	300/2000-2400 (EEC)

[2] Dados recolhidos de um folheto de apresentação do veículo

Combustível	Diesel
Sistema de alimentação	Bomba de injecção, Turbo diesel
Capacidade do depósito (l)	95

Quadro 2

CHASIS	
Toyota.Conjunto completo de uma única peça, em aço estampado	
Tipo de suspensão (dianteira)	Wishborne duplo com 2 barras de torção. Amortecedores hidráulicos de dupla acção telescópicos.
(traseira)	Molas de lâminas semi-eliptícas e barra de torção. Amortecedores hidráulicos de dupla acção telescópicos.
Travões	Duplo circuito hidráulico
(dianteira)	Discos ventilados com calibrador de duplo pistão
(traseira)	Tambor
Direcção (assistida)	Esferas recirculantes
Pneumáticos	205/75 R17.5 Tubless

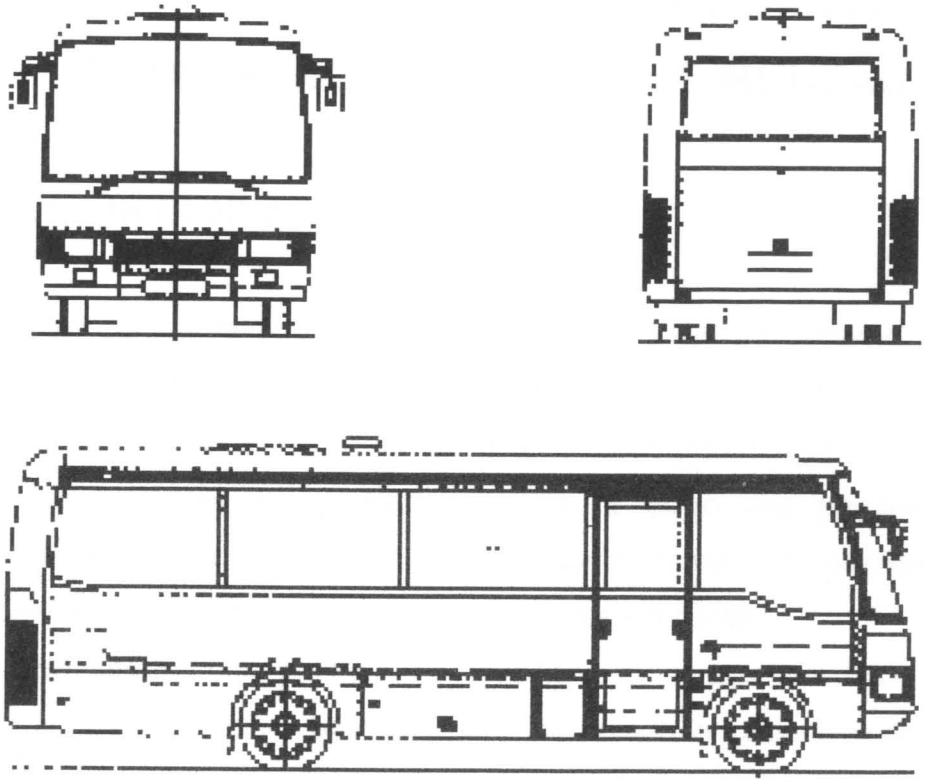
Quadro 3

TRANSMISSÃO	
Embraigem	Monodisco seco. Comando hidráulico
Relação de transmissão	1ª 4.535:1; 2ª 2.858:1; 3ª 1.66:1; 4ª 1.000:1; 5ª 0.744:1; M.A. 5.043:1

Quadro 4

SISTEMA ELECTRICO	
Alternador	24 V - 85 A
Motor de arranque	24 V - 4.5 Kw
Baterias	12 V - 55 Ahx2

Quadro 5



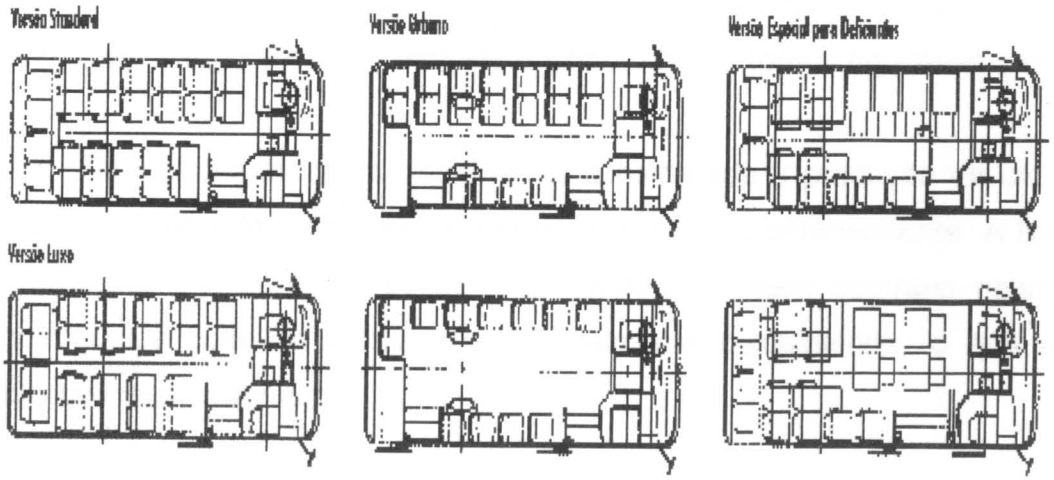

Versão Standard
Versão Urbano
Versão Especial para Deficientes
Versão Luxo

Fig.1

6 - DEFINIÇÃO DO OBJECTIVO DA EQUILIBRAGEM DA LINHA DE MONTAGEM

6.1. - INTRODUÇÃO

Antes de descrever a linha de montagem da Salvador Caetano, penso ser importante fazer uma abordagem teórica a este tipo de problemas na sua forma determinística, isto é, em que o valor dos diversos parâmetros em causa são conhecidos e estão perfeitamente definidos. É óbvio que na prática, esta situação raramente se verifica, até porque o comportamento do ser humano tem variações de actividade que têm que ser tomadas em conta.

Com este trabalho pretendeu-se equilibrar as cargas horárias da linha de montagem. Este objectivo bem definido, foi levado a cabo através de uma tentativa de redistribuição de tempos das operações de montagem mais eficaz, por forma a que cada posto da secção, no nosso caso a secção de pintura, tivesse uma carga horária aproximadamente igual. Mesmo neste caso, já fizemos uma simplificação do problema em causa, porque num caso teórico ou óptimo, as cargas horárias seriam distribuídas de forma equitativa por cada posto da secção.

Na elaboração deste trabalho, foi considerada a produção de um único modelo na linha de montagem, como já foi explicado anteriormente. A linha foi considerada como sendo "single line"[3], visto que, caso contrário estaríamos confrontados com um problema essencialmente combinatório, o que não é objectivo deste trabalho.

[3] Linha cuja produção se limita a um único modelo

6.2. - CARACTERIZAÇÃO DA LINHA DE MONTAGEM

A linha de montagem desta empresa pode ser considerada como sendo uma *linha de montagem tradicional*, isto é, utiliza máquinas e ferramentas simples como por exemplo máquinas de soldar semi-automáticas, furadoras, rebitadeiras, etc, e tem uma enorme intervenção humana, fruto da própria e elevada complexidade do seu produto final. As diversas secções intervenientes e a respectiva incorporação de cada uma delas está representada na página seguinte.

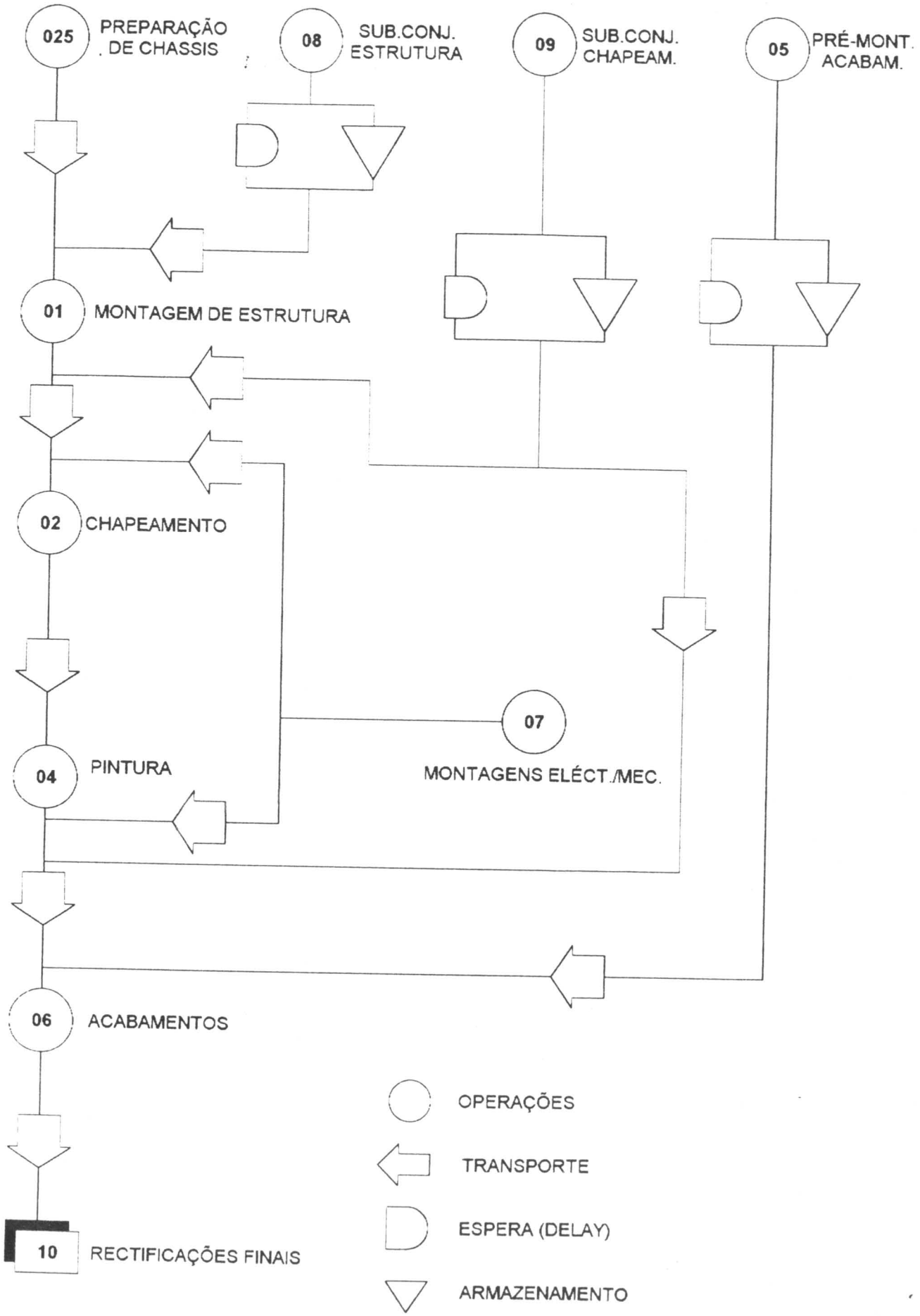
Numa perspectiva teórica, este tipo de linhas são basicamente constituidos por uma sucessão de postos manuais, que no entanto podem ter sistemas de transporte mais ou menos complexos entre eles.

Em cada posto de trabalho é afectado um único operador, embora surjam casos, como acontece na Salvador Caetano, em que certas operações exigem a intervenção de vários colaboradores simultâneamente.

6.3. - O PROBLEMA DETERMINÍSTICO DE EQUILIBRAGEM

A definição do nº de postos de trabalho da linha e a selecção de tarefas a executar em cada posto, designa-se por "line balancing"[4]. A equilibragem de linha tem por principal objectivo a redistribuição equitativa das cargas de trabalho com a finalidade de se obter a cadência desejada com a respectiva maximização da produtividade. Na equilibragem propriamente dita, temos que considerar duas situações distintas:

[4] Equilibragem de linha


025
PREPARAÇÃO
. DE CHASSIS
08
SUB.CONJ.
ESTRUTURA
09
SUB.CONJ.
CHAPEAM.
05
PRÉ-MONT.
ACABAM.
01
MONTAGEM DE ESTRUTURA
02
CHAPEAMENTO
07
MONTAGENS ELÉCT./MEC.
04
PINTURA
06
ACABAMENTOS
10
RECTIFICAÇÕES FINAIS
OPERAÇÕES
TRANSPORTE
ESPERA (DELAY)
ARMAZENAMENTO

- Primeira situação em que para um nº definido de postos de trabalho tentamos aumentar a cadência, isto é, optimizar o fluxo de produção, eliminando os denominados problemas de "bottle neck"[5], por exemplo.
- A segunda situação consiste em definir para uma dada cadência o nº óptimo de postos de trabalho.

[5]Estrangulamento da produção

7 - MÉTODOS UTILIZADOS PARA A RESOLUÇÃO DE PROBLEMAS DE EQUILIBRAGEM

Depois de determinada a sequência exequível para a execução das operações (Anexo 3), podemos passar à fase da resolução do problema propriamente dito.

A resolução de problemas com um nº elevado de operações é sempre muito complicado, exigindo um grande esforço computacional e capacidade de análise de todas as situações possíveis, devido à elevada quantidade de combinações possíveis. Felizmente as relações de precedência estabelecidas diminuem-nos consideravelmente o nº de soluções possíveis.

Seguidamente vamos debruçar-nos sobre alguns processos conhecidos, desenvolvidos para a resolução dos problemas de equilibragem de linhas de montagem (PELM). Na resolução dos PELM, têm sido utilizados os seguintes processos:

* **Trial and Error**
* **Métodos Heurísticos**
* **Programação Linear**
* **Programação Dinâmica**

Os dois primeiros métodos procuram ser processos expeditos para a obtenção de soluções próximas do óptimo, enquanto os outros são métodos de optimização que permitem obter uma solução óptima do problema, no entanto, são métodos menos expeditos do que os outros e exigem grande esforço computacional.

7.1. - TRAIL AND ERROR

Este é, talvez, o método mais usado para o planeamento da produção, apesar da sua aparente ineficiência. É fundamentado na experiência dos planeadores que geralmente são pessoas que dominam todo o processso produtivo. Esta técnica consiste em afectar todas as operações pelos respectivos postos de trabalho, atendendo apenas às relações de precedência.

De facto, a solução final é obtida por tentativas, efectuando-se em cada tentativa as respectivas correcções com o objectivo de as melhorar.

As correções são implementadas até que se obtenha uma solução que lhe pareça razoável, caso contrário, implementa-se de novo a solução anterior, tentando sempre novos caminhos para a sua melhoria.

As duas grandes vantagens deste método advêm do facto de este não envolver técnicas matemáticas muito complexas e de serem facilmente compreensíveis e aplicáveis. No entanto, a sua utilização levanta alguns problemas que passo a citar:

⇒ repetição monótona de cálculos simples para obter soluções alternativas, o que o torna um processo de obtenção de soluções melhoradas muito moroso;

⇒ as diversas soluções obtidas são directamente testadas com a linha em funcionamento, inviabilizando assim, a simulação de soluções alternativas;

⇒ desconhecimento da proximidade da solução relativamente à solução óptima.

7.2. - HEURÍSTICAS[6]

"*The Largest Candidate Rule*"[7] é uma regra que faz a afectação das operações aos postos de trabalho, de acordo com o nº de operações que se podem realizar após a sua conclusão. As operações com o maior nº de sucessores imediatos são afectadas em 1º lugar, desde que o seu tempo de processamento não seja superior ao tempo disponível no posto de trabalho, e que este facto não viole as relações de precedência. Esta regra procura promover assim um rápido aumento do leque de hipóteses de afectação de operações aos postos de trabalho.

Outra regra igualmente simples faz a afectação das operações de acordo com o tempo de processamento das operações. Sempre que isso seja possível, as operações com maior duração são afectadas em 1ª lugar. Esta regra pretende fazer com que as operações com menor duração sejam colocadas em último lugar, o que permite distribui-las de modo a preencher os tempos mortos dos postos de trabalho.

O próximo método que vou apresentar é conhecido por "*Ranked positional weights*"[8]e foi desenvolvido por Helgeson e Birnie em 1961, quando estes pertenciam à General Electric (USA). Na sua essência a metodologia desta regra é baseada nas outras duas apresentadas anteriormente. A heurística estabelece a ordem pela qual as operações devem ser afectadas, para tal soma-se o tempo de processamento de uma operação com a duração de todas as operações que a sucedem. As operações com o maior somatório, que aqui se designa por peso posicional, são afectadas em 1ª lugar. É importante referir que esta regra também é aplicável nos casos em que temos restrições, tanto de precedência com de zonagem.

---

[6] Informação retirada do livro "Mass-production Management - The Design and Operation of Production" de Ray Wild.
[7] Regra do Nºde Sucessores Imediatos
[8] Regra dos Pesos Posicionais

A metodologia desta regra vai ser exemplificada posteriormente neste relatório, com apresentação de um exemplo teórico e depois com o caso prático que nos propomos estudar. O fluxograma desta regra é apresentado na página seguinte.

No mesmo ano (1961), *Kilbridge e Webster* desenvolveram uma heurística que tinha por objectivo inicial a realização de equlibragem de sistemas de produção sem recorrer à computação. A característica mais relevante deste método é a separação das operações por "colunas", que permitem orientar a selecção das operações a afectar. Às operações são-lhes atribuídos 2 valores de coluna, o 1º identifica o grupo de elementos de onde pode ser seleccionada a operação, sem se violarem as relações de precedência, e o 2º o último grupo de operações em que isso pode acontecer. A atribuição dos valores de coluna às operações vai ser exemplificada recorrendo a um exemplo apresentado na fig. abaixo. Nessa figura os círculos representam as operações e devem ser colocados o mais à esquerda possível, as setas representam as relações de precedência, e têm que apontar da esquerda para a direita, não podendo ser colocadas na vertical. De acordo com a definição de valor de coluna, verifica-se que no exemplo apresentado, para a operação um o 1º e 2º valor de coluna será I. Para a operação 2, o 1º valor da coluna será II e o segundo III. Para a operação 3, ambos os valores de coluna são II, e assim sucessivamente.

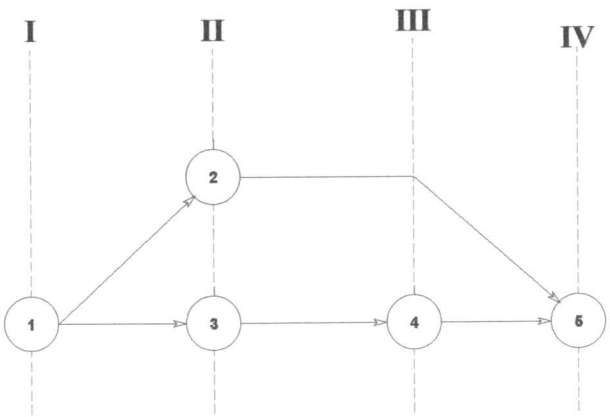
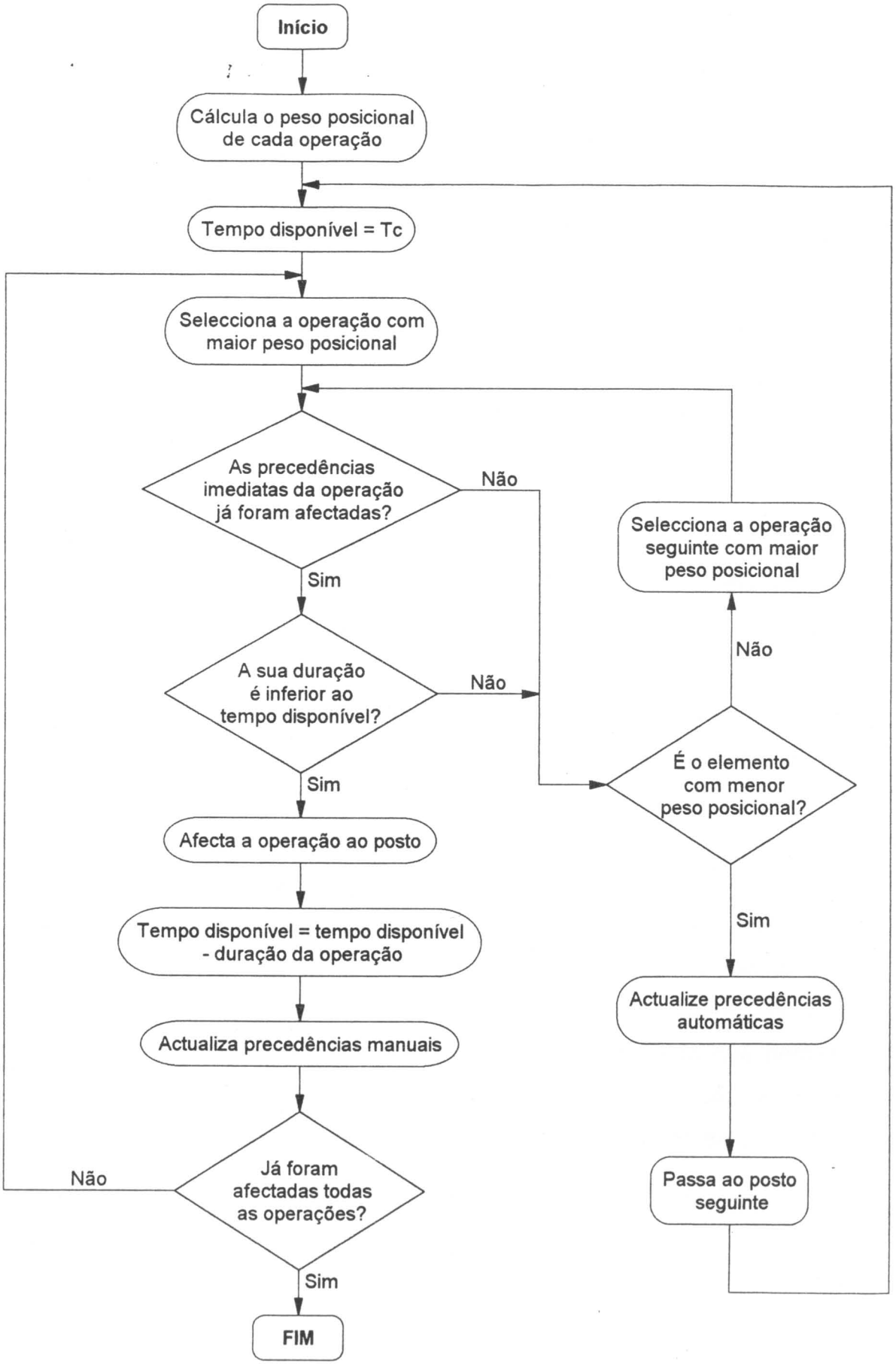


Fig.2 - Exemplo da atribuição do valor de coluna às operações

O procedimento de atribuições de operações aos postos de trabalho começa pela selecção, por ordem de duração, dos elementos pertencentes à coluna das operações que não têm precedências. Se não se conseguir uma selecção satisfatória, as operações do grupo são permutadas de modo a ser optimizada a solução; para além disso, as operações podem ser movidas para as colunas seguintes tendo sempre o cuidado de não exceder o 2º valor da coluna. Kilbridge e Webster preconizavam a utilização da prática e do bom senso no acto de permutação e transferência dos elementos intervenientes. No entanto, a tentativa de informatização do método implicou a sua adaptação através de uma regra conhecida por regra da coluna. Esta regra começa pela identificação das operações com menor valor de coluna, estas são seleccionadas em 1ºlugar, por ordem decrescente de duração sendo afectadas aos postos de trabalho. Se a duração de uma operação exceder o tempo dísponível no posto de trabalho tenta-se afectar a operação imediatamente ao seguinte. Quando o somatório do tempo da coluna excede o tempo disponível no posto de trabalho, tenta-se afectar a operação com maior duração da coluna seguinte. Se todas as operações com possibilidade de serem atribuidas ao posto


Início
Cálcula o peso posicional de cada operação
Tempo disponível = Tc
Selecciona a operação com maior peso posicional
As precedências imediatas da operação já foram afectadas?
Não
Sim
A sua duração é inferior ao tempo disponível?
Não
Sim
Afecta a operação ao posto
Tempo disponível = tempo disponível - duração da operação
Actualiza precedências manuais
Já foram afectadas todas as operações?
Não
Sim
FIM
Selecciona a operação seguinte com maior peso posicional
Não
É o elemento com menor peso posicional?
Sim
Actualize precedências automáticas
Passa ao posto seguinte

em causa tiverem uma duração superior ao tempo disponível, recomeça-se todo o processo em relação ao posto seguinte.

Existe também um método interessante para se realizar a equilibragem de linhas de montagem, conhecido por COMSOAL (Computer Method of Sequencing Operation for Line Balancing), esta técnica foi desenvolvida por A.L.Arcus em 1966. Este método consiste na utilização de um computador para gerar uma série de sequências exequíveis de operações a partir das quais se simula a equilibragem. A simulação é obtida afectando as operações aos postos de trabalho, retirando-as aleatoriamente de uma lista composta pelas operações em condições de serem afectadas ao posto de trabalho em causa, isto é, composta pelas operações cujas precedências imediatas foram já afectadas e com tempo de processamento inferior ao tempo disponível no posto de trabalho. A metodologia deste procedimento assenta no poder do processo estatístico de amostragem; de facto, à medida que o nº de sequências geradas aumenta, também aumentam as probabilidades de serem seleccionadas, da população de sequências, alguma que origine uma solução aceitável.

É de referir que esta técnica recorre à utilização da computação, contrariamente às outras que foram apresentadas anteriormente.

A.L.Arcus introduziu algumas melhorias ao seu procedimento básico de modo a incrementar a sua eficiência. Foram propostas algumas regras que permitem aumentar a probabilidade de serem seleccionadas operações com certas características. Foi também incorporado um procedimento que permite que se faça a interrupção do processo de obtenção de uma solução antes da sua conclusão, sempre que o tempo morto que lhe está associado exceder o da melhor solução que até então tinha sido obtida.

7.3. - PROGRAMAÇÃO LINEAR INTEIRA

Não é objectivo deste trabalho, fazer uma análise muito detalhada das técnicas de programação linear inteira e dinâmica, mas sim apresentar uma pequena introdução a estes importantes métodos, visto constituírem actualmente uma ferramenta poderosa para a abordagem dos problemas de equilibragem de linhas de montagem.

"A programação linear utiliza um modelo matemático para descrever o problema que se pretende estudar. O adjectivo ***linear*** *significa que todas as funções matemáticas do modelo têm de ser lineares. A palavra* ***programação*** *pode ser tomada como um sinónimo de planeamento. Assim a programação linear envolve o planeamento de actividades de modo a se obter um resultado óptimo, ou seja, a melhor das soluções de entre as várias alternativas possíveis que garante um determinado objectivo pré-determinado" (Hillier e Liberman, 1992).*[9]

Existem problemas de programação matemática nos quais as variáveis de decisão (todas ou apenas algumas) só podem tomar valores inteiros. Tais problemas dizem-se de[10]:

⌦ ***Programação Inteira Pura*** ou simplesmente de Programação Inteira (PI), no caso de todas as variáveis serem inteiras, ou de

⌦ ***Programação Inteira Mista (PIM)*** , quando apenas algumas das variáveis forem inteiras (sendo as restantes contínuas).

Em sentido estrito, uma programação inteira (pura ou mista) corresponde a um problema não-linear, visto que as relações que o integram (ou, pelo menos, parte delas) são definidas apenas para valores discretos de uma ou

[9] Citação retirada do "Estudo de Modelos Utilizados na Equilibragem de Linhas de Montagem" de Cristovão Silva.

mais variáveis do problema. No entanto, no âmbito do estudo de algoritmos de programação inteira, um problema é considerado linear se, quando se ignorar a natureza discreta das variáveis inteiras, a programação contínua correspondente for linear. Se tal não se verificar, a programação inteira é considerada não-linear.

É importante referir que se algumas, ou todas, as variáveis que compõem o modelo só puderem tomar valores inteiros, estamos perante um problema de programação inteira. A programação inteira é considerada linear quando ao ignorar a natureza discreta das variáveis, obtivermos uma programação contínua correspondente linear. Acrescente-se ainda, que a existência de uma classe importante de problemas de programação inteira, é constituída pelos problemas de programação binária, nos quais as variáveis apenas podem tomar os valores 0 ou 1.

7.4. - PROGRAMAÇÃO DINÂMICA

"O principal conceito em que se baseia a programação dinâmica é a decomposição do problema de optimização a resolver numa sequência de problemas mais simples, obtendo-se a solução óptima por via recursiva, pelo que seria mais exacto designá-lo por Programação Sequencial ou Recursiva..." (Tavares L.V. e Correia F.N., 1986).[11]

Na programação dinâmica, o problema é dividido em várias fases, às quais se associa uma política de decisão e um determinado nº de estados. O procedimento a seguir, para se obter a solução óptima do problema, começa com a identificação da política óptima para a última fase. Utilizando uma relação

[10]Sebenta de Investigação Operacional - F.E.U.P. - Rui Guimarães

[11] Citação retirada do "Estudo de Modelos Utilizados na Equilibragem de Linhas de Montagem" de Cristovão Silva.

de recursividade determina-se a política óptima para a iteração n a partir da obtida para a iteração n+1. Assim, a utilização da relação de recursividade leva a que o procedimento utilizado para a obtenção da solução óptima se "desloque para trás" iteração por iteração, obtendo para cada uma delas a política óptima, até que seja encontrada a solução óptima que comece na iteração inicial. A vantagem da utilização deste procedimento para obter a melhor combinação de decisões, quando comparado com a enumeração completa, é óbvia, especialmente para problemas industriais de grande dimensão. Vamos considerar, por exemplo, que um problema tem 10 fases com 10 estados e 10 decisões possíveis em cada uma delas; neste caso a enumeração completa obriga a considerar 10^{10} combinações possíveis, enquanto que a programação dinâmica necessita de apenas 10^3 cálculos (10 para cada estado em cada uma das fases).

A título de exemplo, o 1ºalgoritmo de optimização desenvolvido para resolver o problema de equilibragem de linhas de montagem foi baseado nos princípios da programação dinâmica e deve-se a Jackson (1956). O procedimento proposto por este autor consiste em gerar todas as afectações de operações admissíveis para o 1ºposto de trabalho. As listas de operações assim enumeradas são então comparadas, de modo a eliminar aquelas que contêm exactamente as mesmas operações que as outras listas. São ainda eliminadas as listas dominadas; considera-se que uma lista foi dominada quando contem um nº de operações inferior às outras listas e nela não existem operações que não estejam contidas nessas mesmas listas. De seguida enumeram-se todas as afectações de operações admissíveis para os postos seguintes, para cada combinação de operações seleccionadas anteriormente. Este procedimento é repetido, com a adição de um posto de trabalho em cada iteração, até que uma lista contendo todas as operações tenha sido elaborada. A ordem pela qual as operações surgem nessa lista constitui uma sequência exequível que é utilizada para indicar a ordem pela qual as operações devem ser afectadas aos postos de

trabalho. A distribuição de operações assim realizada minimiza o nº de postos de trabalho requeridos para realizar as operações da linha, dado um determinado ciclo de tempo.

O algoritmo de Jackson implica a geração de um nº muito elevado de sequências exequíveis. No final da década de setenta surgem, de novo, estudos baseados nos princípios de programação dinâmica, eficientes na geração dos conjuntos admissíveis e no armazenamento da informação a eles associados. Refira-se, a título de exemplo, os trabalhos divulgados por Shrage e Becker (1978) ou Kao e Queyranne (1982).

8 - DESCRIÇÃO DA LINHA DE MONTAGEM

8.1. - SECÇÃO 04

Na pintura do OPTIMO III estão, directa ou indirectamente, envolvidos 9 postos de trabalho da secção 04, cujas funções estão em baixo descriminadas no quadro 6.

Posto de Trabalho	Descrição de Funções
04.00	Lavagem, desengorduramento e pintura c/primário de tubos em aço, chapas e peças em alumínio. Esmaltagem de peças em PRFV.
04.01	Preparação para aplicação de primário (lixagem).
04.02	Preparação para aplicação de sub-capa (lixagem de primário).
04.04	Aplicação de primário, sub-capa e esmalte.
04.05	Aplicação de primário, sub-capa e esmalte.
04.06	Aplicação de primário, sub-capa e esmalte.
04.07	Preparação para aplicação de esmalte (lixagem de sub-capa).
04.13	Tratamento inferior.
04.14	Cumprimento do relatório elaborado por DGQ e pintura dos frisos.

Quadro 6

No Anexo 4 são apresentados os restantes dados referentes à secção 04, pela seguinte ordem:

- Organigrama da secção 04;
- Afectação dos colaboradores aos postos de trabalho, com os respectivos tempos pré-estabelecidos para cada tarefa;
- Meios de produção da secção.

8.2. - DESCRIÇÃO DO PROCESSO DE ESMALTAGEM DO OPTIMO III

O processo de pintura dos OPTIMO III está inserido na linha de montagem da Salvador Caetano. Como podemos observar pela figura que ilustra todo o processo de construção deste tipo de autocarro (ver pág.10), a secção 04 (pintura) recebe o carro da secção 02 (chapeamento), executa todas as operações pré-definidas[12] de pintura e envia o carro de seguida para a secção 06 (acabamentos). Posteriormente o carro regressa, novamente, à secção 04, mais especificamente ao posto 04.14, para se cumprir o relatório de pintura elaborado por DGQ[13], um exemplo deste documento é mostrado no Anexo 1, e pintura dos frisos. Depois de realizadas estas tarefas o carro é finalmente enviado para a secção 10 (rectificações finais) para correcção de pequenos defeitos ou desvios ao relatório.

Fazendo agora uma descrição mais pormenorizada da intervenção de cada posto de trabalho no processo de pintura e começando por ordem crescente temos o posto 04.00 que é o único que não contribui directamente neste processo, apesar de estar inserido na secção 04. Este posto encontra-se a funcionar em 3 locais diferentes, e a sua função é de "alimentar" as outras secções. Num dos locais, 3 colaboradores estão encarregados de fazer a lavagem, desengorduramento e pintura com primário dos tubos em aço que vão ser utilizados na montagem da estrutura (sec.08).

[12]Quando faço referência a operações pré-definidas quero-me referir ao esquema de pintura e tintas que vão ser aplicadas no carro.

Noutro local, 1 colaborador tem por função a esmaltagem e correcção de pequenos defeitos das peças em fibra de vidro, além disso, têm que proceder ao desengorduramento das peças em alumínio. Para concluir este posto, só falta referir mais 1 colaborador cuja função é fazer o desengorduramento e posterior pintura c/primário das peças em chapas, tanto fabricadas internamente como externamente (as designadas AE's). Estas peças vão "alimentar" as secções 025 (preparação de chassis), 09 (sub.-conj.de chapeamento), 01 (estrutura), 08 (sub.-conj.de estrutura) e por fim a secção 06 (acabamentos).

O posto seguinte constitui a 1ªestação de trabalho da linha de montagem da secção 04. O posto 04.01 é constituído por 4 colaboradores, cuja função é fazer a preparação do carro para a aplicação de primário, é um trabalho esssencialmente de lixagem de paineis. O 2ºturno de trabalho vai aplicar primário no carro, esta aplicação pode ser executada em qualquer dos seguintes postos: 04.04, 04.05 e 04.06, que mais não são do que as 3 cabines de pintura "OMIA", que estão preparadas para a execução de qualquer operação de aplicação de primário, sub-capa ou esmalte. É de referir que a escolha de qualquer destes postos, fica ao critério do chefe de secção, com a assesoria dos seus chefes de equipa.

O posto 04.02 é constituído por 5 colaboradores, responsáveis pela preparação do carro para aplicação de sub-capa. Mais uma vez é uma operação de lixagem. A equipa do 2ºturno vai aplicar a sub-capa no carro, e qualquer das estufas pode ser usada para a realização desta operação.

Seguidamente, o carro é transportado para o posto 04.07 onde 4 colaboradores preparam o carro para aplicação de esmalte. preparação passa pela lixagem da sub-capa aplicada anteriormente no carro. A esmaltagem é aplicada pela equipa do 2ºturno na estufa.

Somente 2 colaboradores constituem o posto seguinte da linha de montagem, o posto 04.13. Neste posto procede-se ao tratamento inferior do

[13] Departamento da Qualidade

carro, este tratamento implica a deslocação do carro para a estufa para aplicação de epotop[14]. A passagem por este posto finaliza a 1ªfase do processo de pintura. O carro é, depois, deslocado para a secção seguinte, onde procedem à montagem dos acabamentos.

Depois do carro abandonar a secção 06, entra novamente na secção 04, mais propriamente no posto 04.14, aí uma equipa de 13 colaboradores efectua o isolamento e posterior lavagem do carro. É neste posto que também se pinta os frisos e esta operação é efectuada em estufa. Seguidamente o carro é deslocado para o posto para ser efectuada a certificação da pintura de acordo com um relatório elaborado por DGQ. Concluído este processo de certificação, o carro é transportado para a secção seguinte.

[14]Produto anticorrosivo aplicado em portas e tampas.

9 - METODOLOGIA UTILIZADA NA EQUILIBRAGEM DA LINHA

9.1. - MOTIVO DA ESCOLHA DO MÉTODO

Depois de ter feito um levantamento exaustivo de todas as operações, tive que elaborar uma sequência de execução (Ver anexo 3), segundo uma ordem lógica. Esta sequência foi feita por inspecção directa da linha de montagem, e pela audição dos colaboradores directamente relacionados com este processo. Aqui residiu uma das grandes dificuladades deste estágio, uma vez que o processo de pintura é um processo que não está bem definido pelos métodos. Aconteceu situações em que o mesmo tipo de operações era realizado de forma diferente pelos mesmos colaboradores, assim como, variarem o nº de colaboradores de um mesmo posto de trabalho de um dia para o outro. Perante esta situação, grande parte do meu tempo de estágio foi consumido na percepção e compreenssão desta tecnologia.

Depois de ultrapassada esta fase levantou-se outra questão, qual o método mais indicado para a abordagem deste problema concreto? Uma vez que listei 169 operações, este nº traz problemas na utilização de um método de programação linear ou dinâmica devido ao esforço computacional exigido por estes algoritmos de optimização. Assim utilizei uma heurística, que embora não permita a obtenção de uma solução óptima, permite chegarmos a uma solução satisfatória, isto é, perto da óptima que se encontra enquadrada nos objectivos deste trabalho.

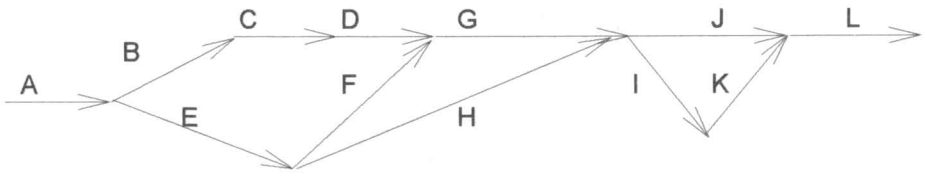
O método dos pesos posicionais foi a heurística escolhida para este trabalho por diversas razões que passo a citar. Primeiro, porque é de fácil compreensão, como podemos constatar no próximo ponto. Segundo, porque é facílmente implementável em folha de cálculo e por último por permitir fazer as

adaptações necessárias para a execução deste trabalho, nomeadamente a utilização de mais do que um colaborador por posto de trabalho.

9.2. - EXEMPLO TEÓRICO

A distribuição equilibrada das operações pelos postos de trabalho, respeitando as restrições tecnológicas e de zonagem, pode ser um trabalho bastante complicado. Dos métodos e técnicas apresentados anteriormente, será aqui ilustrado o método conhecido por "Ranked positional weights"[15], recorrendo a um exemplo simples[16].

Considere-se uma máquina cuja montagem é constituída pelas operações A e L cujo sequenciamento tecnológico está indicado na fig.3 abaixo apresentada, juntamente com os tempos (em milésimos de hora).



A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	Total
270	35	125	230	85	105	40	115	135	195	95	55	1485

Fig.3 - Precedências tecnológicas e tempos

O *peso posicional* associado a cada operação é obtido pelo somatório dos tempos dessa operação e de todas as que lhe sucedem. Para calcular esses pesos, podemos usar uma folha de cálculo, como o que está ilustrado abaixo no quadro 7.

[15] É a Regra dos Pesos Posicionais que já foi focada anteriormente
[16] Este exemplo foi retirado da sebenta de Planeamento da Produção, do Srº Profº Bernardo Calafate

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	PP	Ord
A	270	35	125	230	85	105	40	115	135	195	95	55	1485	1º
B		35	125	230			40		135	195	95	55	910	2º
C			125	230			40		135	195	95	55	875	3º
D				230			40		135	195	95	55	750	5º
E					85	105	40	115	135	195	95	55	825	4º
F						105	40		135	195	95	55	625	6º
G							40		135	195	95	55	520	8º
H								115	135	195	95	55	595	7º
I									135		95	55	285	9º
J										195		55	250	10º
K											95	55	150	11º
L												55	55	12º

Quadro 7 - Cálculo dos pesos posicionais

Na penúltima coluna (pp) do quadro apresentado, aparecem os pesos posicionais de cada operação (somatório dos tempos indicados na linha). A última coluna indica a ordenação das operações por pesos posicionais.

A fase seguinte é calcular o nº de postos de trabalho. O tempo total de montagem de uma máquina é de 1,485 horas.

Admitamos que o objectivo é conseguir a montagem de 3 máquinas por hora. O nº mínimo de postos de trabalho é então

$$p = 3x1,485 = 4,455$$

ou seja, p = 5. O ciclo correspondente vem

$$C = 1,485/5 = 0,297 \text{ h}$$

As operações de montagem têm agora de ser distribuídas pelos postos de trabalho respectivos, sem ultrapassar o tempo de 297 milésimos de hora e respeitando todas as precedências tecnológicas. Para esse efeito, as operações vão sendo afectadas a cada posto por ordem dos pesos posicioais.

Posto	Operador	Tempo	Somat.	C-Somat.	C - Somat.
I	A	270	270	27	0
II	B	35	35	262	
	C	125	160	137	
	E	85	245	52	25
III	D	230	230	67	40
IV	F	105	105	192	
	H	115	220	77	
	G	40	260	37	10
IV	I	135	135	162	
	K	95	230	67	40
VI	J	195	195	102	
	L	55	250	47	20
					135

Quadro 8 - Alocação das operações

A operação A tem o maior peso posicional, como podemos ver através do quadro, por isso, é a 1º a ser afectada ao posto I. Na coluna Tempo aparece o tempo da operação A; na coluna Somat. (somatório), o tempo acumulado das operações afectadas ao posto I; e na coluna C-Somat., o tempo disponível no posto I para perfazer o ciclo estimado anteriormente (C=297). Assim, sobram 27 unidades de tempo, mas não há nenhuma operação que possa ser afectada nesse intervalo. Portanto, o posto I fica preenchido unicamente com a operação A.

Seguindo o mesmo raciocínio, continuamos pela ordem decrescente dos pesos posicionais. Ao posto II são afectados B (precedida por A), C (precedida por B) e E (precedida por A). Sobram ainda 25 unidades de tempo, mas isso não chega para alocar mais nenhuma operação. Ao posto III é afectada a operação D que é a seguinte na ordem dos pesos. Sobram 40 unidades que dariam para alocar G, mas este tem de esperar que a operação F seja realizada. Portanto o posto fica preenchido exclusivamente com D.

Continuando a aplicar esta metodologia, as operações F, H e G são afectadas ao posto IV, sobrando 10 unidades de tempo. No posto IV entra a

operação I sobrando assim 162 unidades que são insuficientes para poder alocar a operação J cujo o peso posicional vem imediatamente a seguir. Em alternativa, pode alocar-se a operação K cujo tempo de 95 unidades é inferior às 162 unidades disponíeis e cujas operações precedentes já foram realizadas. Finalmente, as operações J e L são realizadas no último posto VI, sobrando ainda 20 unidades de tempo.

Podemos constatar que os 5 postos inicialmente previstos são insuficientes para completar todas as operações , sendo necessário criar um posto de trabalho adicional (no nosso caso o posto VI). Isto aconteceu devido às perdas significativas em todos os postos que, no seu conjunto, somam 135 unidades.

A cadência da linha será sempre comandada pelo posto mais carregado, I, com o tempo afectado de 270. Adoptando este valor para o ciclo real, C' = 270, obtemos uma cadência de produção de

$$N' = 1/C' = 3,7 \text{ unidades por hora}$$

que ultrapassa o objectivo inicial das 3 unidades por hora. Nestas circunstâncias, as perdas reais de equilibragem são

$$e = (6x270 - 1485) / 1485 = 9,1\%$$

Feita a distribuição das operações, passa-se ao estudo ergonómica e à reanálise das operações segundo os Princípios do Estudo do Trabalho. Frequenteemente, surgem alterações, quer nos métodos, quer nos próprios tempos, conduzindo à revisão dos cálculos efectuados.

10 - EQUILIBRAGEM DA LINHA

10.1. - CONSIDERAÇÕES INICIAIS

Depois de ter acompanhado directamente a produção de diversos OPTIMO III, foram definidas e listadas todas as operações consideradas elementares. Esta listagem (ver Anexo 3) resulta basicamente da observação "in loco" da linha, com tomada directa de tempos, da audição dos diversos colaboradores (directos e indirectos) envolvidos neste processo e por último da consulta feita à base de dados do sistema de informação da empresa AS/400, como pode ser observado também no mesmo Anexo.

Para além desta informação, foram identificadas e registadas as restrições existentes em todo o processo. A existência destas foi considerada na elaboração das relações de precedências entre as diferentes operações e assim foi criada, na mesma listagem das operações, uma tabela que estabelece as relações de precedência.

A listagem elaborada não faz qualquer distinção quanto ao tipo e origem das diferentes restrições, no entanto podemos classificá-las em quatro grandes grupos:

- Tenológicas - o processo em si, exige que sejam respeitados tempos de secagem da pintura, para poderam ser executadas outras operações;
- Zonagem negativa - incompatibilidade de operações, por exemplo, a esmaltagem têm que ser executada em estufas próprias devido ás partículas e poeiras provenientes da lixagem;
- Zonagem positiva - associação de operações, por exemplo, aplicação de certos isolantes do chassis e carroçaria são executados no mesmo posto, já que exigem a elevação do autocarro;

- Espaço - o grande fluxo de carros provoca pontualmente atrasos por falta de espaço nos postos, nomeadamente nas estufas e ainda a espera motivada pela utlização de uma única ponte rolante para a movimentação dos carros na secção.

Tendo em conta o facto de que consideramos que a linha apenas produz um único modelo, vamos admitir que há n operações listadas e que a cada operação i corresponde um tempo bem definido ti.

Assim vai implicar que tenhamos um tempo associado a cada produto final igual ao

$$T = 103,15 \text{ horas}$$

Existindo um nº de postos de trabalho igual a 5 (p=5), cada posto deverá executar uma série de n operações que perfaçam um tempo de

$$C = 103,15/5 = 20,63 \text{ horas} \qquad \text{(Ciclo ideal)}$$

A prática diz que o valor de C nunca é atingido, mas serve como indicador para o ritmo da produção. As operações serão afectadas aos postos por forma a que o somatório dos tempos T correspondentes se aproxime o mais possível do objectivo C.

No caso deste valor C ser um valor realista, conseguiríamos obter uma cadência de produção N igual a

$$N = 1/20,63 = 0,8 \text{ unidades/hora} \approx 6 \text{ unidades/dia}$$

mas este valor na prática nunca é atingido, porque embora se pretenda que o nº de postos de trabalho seja mínimo, existe um desequilíbrio das cargas horárias

entre postos de trabalho. Este desequilíbrio ainda é mais acentuado devido à indivisibilidade de certas operações como já foi referido.

No gráfico e quadro apresentados em baixo podemos verificar o desequilíbrio existente na distribuição das cargas horárias pelos postos de trabalho.

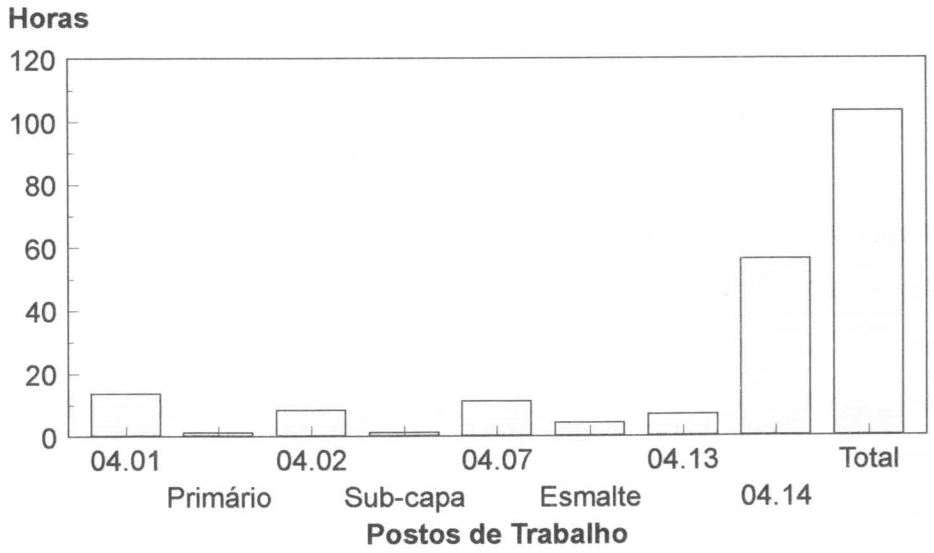


Gráfico 5

Posto	04.01	Primário	04.02	Sub-capa	04.07	Esmalte	04.13	04.14	Total
Tempo/Posto	13,66	1,28	8,35	1,32	11,15	4,27	6,92	56,21	103,15
NºTrab./Posto	4		5		4		2	13	28

Quadro 9

O ciclo real vai ser então C', calculado através do somatório dos tempos de operação do posto mais sobrecarregado, no nosso caso vai ser o posto 04.14, como podemos verificar pela tabela.

É o ciclo C' que vai determinar o "output" da linha de montagem, ou seja, vai estabelecer o tempo de saída dos produtos da linha, determinando, por fim a cadência real

$$N' = 1/C'$$

Tendo nós C'= 56,21 horas vamos então obter uma cadência real de

$$N' = 1/56,21 = 0,29 \text{ unidades/hora} \approx 2,3 \text{ unidades/hora}$$

Por inspecção do gráfico, verificamos também que todos os outros postos apresentam uma carga horária inferior ao do posto 04.14. De facto, isto pode indiciar que existe um desperdício de tempo nos outros postos. Os restantes postos trabalham com uma actividade abaixo de C', isto é provocado pelo menor nº de colaboradores afectadoss aos postos, precisamente para se conseguir um fluxo mais homogéneo da produção. Na prática, os postos mais sobrecarregados possuem mais colaboradores para compensarem esse "handicap" ao nível da cadência da produção.

10.2. - DESCRIÇÃO DA APLICAÇÃO

Depois de ter elaborada a listagem com as operações, respectivos tempos e relações de precedência como foi referido anteriormente, fomos aplicar a metodologia apresentada ao nosso caso. Para tal foi utilizada uma folha de cálculo onde foram determinados os pesos posicionais das 169 operações consideradas (ver Anexo 5).

De seguida fomos alocar as operações aos postos, respeitando o nº de trabalhadores colocados em cada posto. É importante referir que o horário completo de trabalho nesta empresa é de 8,30 h por dia, mas para o nosso estudo apenas vou considerar 8 h como tempo útil de trabalho. Esta diferença é

justificada pelo tempo desperdiçado, por exemplo, nas deslocações à casa-de-banho, pequeno-almoço, lanche, etc, que os colaboradores efectuam durante o tempo de serviço.

Esta 1º tentativa de equilibragem que se encontra ilustrada no Anexo 6, permite-nos inferir que após a 1º tentativa de balanceamento, não conseguimos reduzir o nº de colaboradores afectadoss aos postos de trabalho, mesmo a redução de tempo morto não foi significativa, no entanto conseguimos reduzir um posto de trabalho. Esta análise comparativa pode ser feita nas páginas seguintes onde são apresentados os gráficos com os resultados obtidos.

Após uma análise dos resultados obtidos na 1ª tentativa de equilibragem e utilizando o método de "trial and error", procedemos a uma nova redistribuição das operações, respeitando as relações de precedência e a exiquibilidade das operações. Uma nova tabela para o cálculo dos pesos posicionais foi construída (ver Anexo7), fizemos novamente a distribuição das operações pelos postos de trabalho de acordo com a metodologia que estamos a usar. Os resultados obtidos com esta 2ºtentativa de equilibragem são bastante mais animadores do que os primeiros, como pode ser verificado no Anexo 8, e permitem-nos chegar a algumas conclusões que vão ser apresentadas no ponto seguinte.

11 - APRESENTAÇÃO E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Depois de uma análise aos resultados obtidos, chegamos às seguintes conclusões que passo a apresentar:

* Após a 2ª tentativa de balanceamento da linha, conseguimos que um dos 14 colaboradores, que actualmente estão afectadoss à pintura do OPTIMO III, seja reafectado noutro local onde possa ser mais útil à empresa. De facto verificamos que com uma nova reorganização das operações podemos obter uma racionalização na utilização do pessoal (Ver quadro 11);
* Os tempos mortos da linha são minimizados. Este facto pode ser observado através dos gráficos apresentados de seguida. Se comparar-mos as duas situações, a actual e a após a 2ªtentativa de balanceamento da linha (Ver gráfico 6 e 8), verificamos que as perdas motivadas por tempos mortos foram consideravelmente diminuídas, podemos mesmo estimar que a redução do tempo morto é na ordem dos 95%, o resumo dos resultados é apresentado no Anexo 9;
* Constatamos também, que é teoricamente possível diminuir um posto de trabalho (neste caso o posto 04.13), através da nova sequência das operações. O desaparecimento deste posto implica que as operações realizadas nele actualmente, sejam transferidas para o posto anterior (posto 04.07). Esta hipótese é interessante, já que, caso seja implementada, permite que o processo de pintura do OPTIMO III seja encurtado em 1 dia, isto é, passamos da situação actual que são em média 5 dias úteis de trabalho, para 4 dias úteis;
* A cadência da linha não é alterada, uma vez que, como já foi explicado anteriormente, o posto mais carregado da linha determina o "output" de saída da mesma. O posto com maior carga horária é o posto 04.14 (ver gráfico 6),

que não foi praticamente alterado devido às retrições impostas pelo próprio processo de pintura utilizado pela empresa. Enquanto se mantiver o actual processo, que determina que o carro, após passagem pelo posto 04.13, entre na secção de acabamentos (sec.06), para regressar novamente à secção 04 para serem aplicados os frisos de remate do autocarro, não for alterado, dificílmente poderá ser aumentada a cadência de produção, sem se ter que realizar investimentos volumosos.

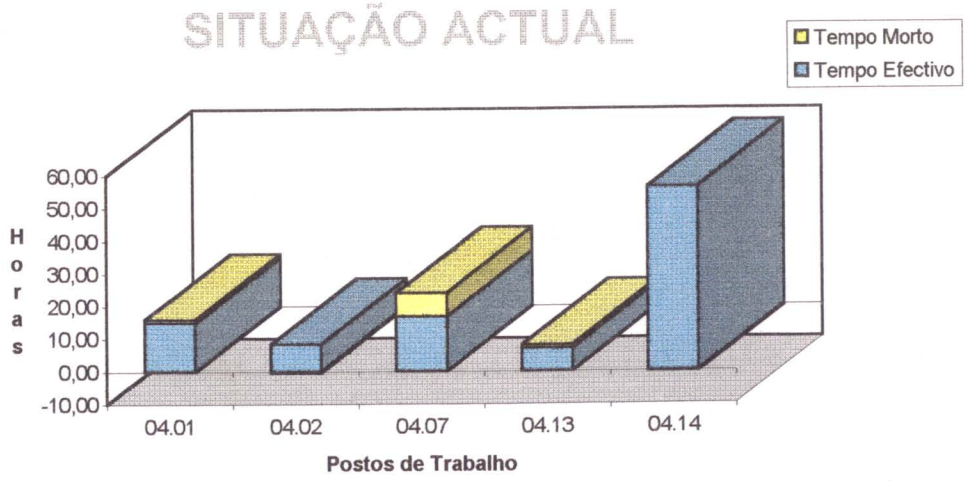


Gráfico 6

SITUAÇÃO APÓS A 1ªTENTATIVA DE EQUILIBRAGEM

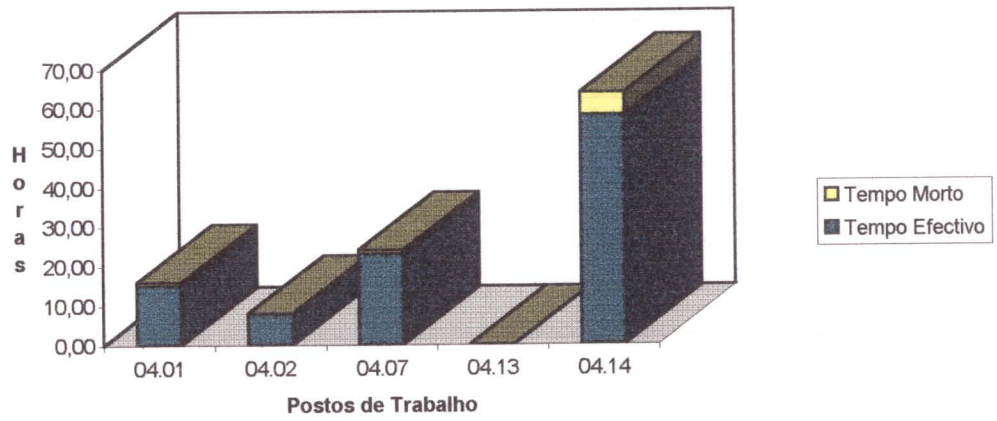


Gráfico 7

SITUAÇÃO APÓS A 2ºTENTATIVA DE EQUILIBRAGEM

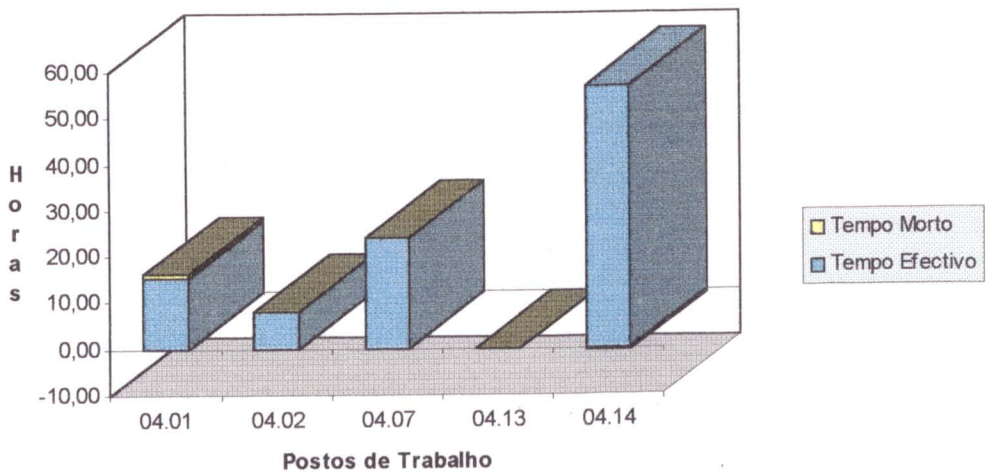


Gráfico 8

Nº de Colaboradores Afectados á Secção 04			
Postos de Trabalho	Situação Actual	Situação após a 1ªtentativa de eq.	Situação após a 2ªtentativa de eq.
04.01	2	2	2
04.02	1	1	1
04.07	3	3	3
04.13	1	0	0
04.14	7	8	7
Total	14	14	13

Quadro 11

12 - CONCLUSÃO E COMENTÁRIOS

A equilibragem da linha foi feita com base numa heurística, já que constatei que estes métodos, além de serem relativamente de fácil aplicação e metódicos, produzem soluções, que embora não sendo óptimas, são bastante satisfatórias, mesmo quando fazemos a comparação com outros métodos, nomeadamente os que recorrem à programação linear inteira e dinâmica.

Embora sendo uma linha tradicional de montagem, este processo de fabrico exige por diversas vezes a utilização de mais do que um colaborador por posto de trabalho, o que vem contrariar os pressupostos estabelecidos para a resolução deste tipo de problemas. Devido a este facto tivemos que fazer algumas alterações à heurística, por forma a adaptarmos ao nosso caso. A principal simplificação que foi feita foi considerar que a carga afectada a cada posto seria feita de acordo com o nº de colaboradores necessários ao bom desempenho de determinada tarefa. Assim, por exemplo, se a um posto estiver afectado um único colaborador, e este tiver uma carga de 15 horas, no caso de a tarefa a realizar exigir a intervenção de dois colaboradores, o tempo considerado vai ser duplicado. Então, neste caso, é afectado ao posto uma carga de 30 horas.

É importante referir que é fundamental para o sucesso deste tipo de trabalho que o analista que o elabora, conheça e domine profundamente este tipo de tecnologia, o que não é o nosso caso, portanto este trabalho reflecte a opinião e ambiguidade do autor deste trabalho, estando certo que outros resultados poderiam ser alcançados.

A equilibragem da linha é um processo contínuo que necessita de ser reajustado sempre que se faz uma alteração, por isso, este é um tipo de trabalho importante para uma linha e que pode, e deve, ser aplicado aos outros sectores.

Também retemos na ideia que a mudança do actual processo de colocação dos frisos de remate dos autocarros feito na secção 04, para outro de

diferente género, traria ganhos significativos no tempo de produção do OPTIMO III, assim como o investimento num sistema de filtragem de poeiras permitiria, com certeza, resolver em grande parte a elevada percentagem de defeitos de pintura que se verifica actualmente.

BIBLIOGRAFIA

* Calafate, Bernardo (1992). *"Planeamento da Produção", GEIN-FEUP*
* Evans, James R. (1993). *"Applied Production and Operations Management"*, Fourth Edition - West.
* Fernandes, Carlos (1994). *'Estudo de Optimização da Linha de Montagem'.*
* Guimarães, Rui (1983). *"Programação Inteira", Textos de apoio da disciplina de Complementos de Investigação Operacional, Licenciatura em Engenharia Mecânica, Opção em Gestão da Produção', GEIN-FEUP*
* Silva, Cristovão (1994). *"Estudo de Modelos Utilizados na Equilibragem de Linhas de Montagem"*, Dissertação de Mestrado em Ciências de Engª Mecânica
* Spiegel, Murray R. (1985), *"Estatística"* - 2ºedição, McGraw-Hill
* Wild, Ray (1972). *"Mass-production Management - The Design and Operation of Production"*. John Wiley & Sons.

ANEXOS

- **Anexo 1**
  Relatório de DGQ

- **Anexo 2**
  Planta da Empresa
  Organigrama da estrutura fabril de produção de autocarros

- **Anexo 3**
  Listagem das operações

- **Anexo 4**
  Organigrama da secção 04
  Afectação dos colaboradores aos postos de trabalho da sec.04
  Meios de produção

- **Anexo 5**
  Folha de cálculo com os pesos posicionais (1ªtentativa)

- **Anexo 6**
  Cálculos da 1ªtentativa de equilibragem

- **Anexo 7**
  Folha de cálculo com os pesos posicionais (2ªtentativa)

- **Anexo 8**
  Cálculos da 1ªtentativa de equilibragem

- **Anexo 9**
  Quadro-resumo com os resultados obtidos

ANEXO 1

INSPECÇÃO FINAL DA QUALIDADE

RELATORIO DE NÃO CONFORMIDADES

O.F.Nº FABRICO: 1 1 0 8

O.F.Nº REPARAÇÃO/CLIENTES/OUTRAS:

DGQ

TIPO: INSP. FINAL

LOCALIZAÇÃO: CICLO TESTES 3826

FOLHA 1 DE _____ FOLHAS

CÓD. DEFEITO	CLASSE DEFEITO	DESIGNAÇÃO DE DEFEITOS	SECTOR RESPONSAVEL PELO DEFEITO SEC	SECTOR RESPONSAVEL PELO DEFEITO POSTO	OBS. A.C. - nº R.A. - nº	CORRECÇÃO EXECUTADA POR	VERIFICAÇÃO DGQI ○ △ ×
		PINTURA					
		= FRENTE -					
2		REMATAR PRETO DOB A FRENTE	04				
2		APLICAR TACOS P/ ANOL DOP A FRENTE	04				
1		LAVAR DEPOSITO DA AGUA	04				
1		REMATAR REBAIXOS DOS PARA CHOQUES	04				
1		POLIR GRELHA CIR.	04				
2		RECTIFICAR TOY NOS CANTOS DOB O PARA BRISAS.	04				
1		REMATAR MATA JUNTAS LAT.	04				
1		REVER PINTURA NA FAIXA BRANCA DO MATA JUNTAS L/ESQ.	04				
		= L/ESQ =					
2		POLIR BOLEADO DA GARRA	04				
2		RECTIFICAR PINTURA DA CINTA SUP. DAS JANELAS.	04				
2		REMATAR CINTAS DOS PAINEIS.	04				
1		LIMPAR PB E PAL DAS PORTAS.	04				

INSPECCIONADO POR:	VERIFICADO POR:	OBS.:	CERTIFICAÇÃO DGQI
	SEC.		
DATA: 05/09/18	DATA:		DATA:
RUB.: MF	RUB.:		RUB.:

CLASSE DE DEFEITO (CI 35/90 DE 8/85 09 e CI 00/5815 DE 8/85 09 60)
DEFEITO CRITICO — PONTUAÇÃO 10
DEFEITO MUITO IMPORTANTE — PONTUAÇÃO 5
DEFEITO IMPORTANTE — PONTUAÇÃO 3
DEFEITO MAIOR — PONTUAÇÃO 2
DEFEITO MENOR — PONTUAÇÃO 1

CÓDIGO DE DEFEITO (1º posição): MATERIAIS, MECÂNICA, SEGURANÇA, FUNCIONALIDADE

C - CONFORME
NC - NÃO CONFORME
CONDICIONAL

FOLHA 1 - CENTRO RECEPTOR DGA

DFG 071-8

A.C. - ACÇÃO CORRECTIVA R.A. - REQUERIMENTO ALTERAÇÃO

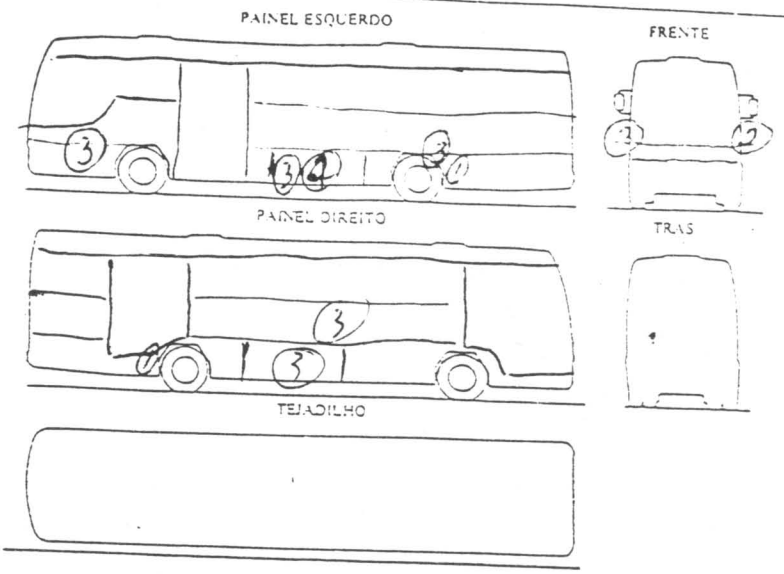
Sociedade Anónima

RELATÓRIO DE PINTURA
OF 551058

DGQ

P. Estr. Proc. 00710683 JL 8986-09
P. PINT. 0071068 JL 8985-09

ESPESSURAS MÉDIAS					
PE	PR	SU	FA	CB	VA
67	26	88			239



DEFEITO			DESCRIÇÃO DAS DEFICIÊNCIAS (outros)	FASE DE APLICAÇÃO									ORIGEM						
Nº	PT	CD		PE	PS	PR	RP	SU	RS	CB	FA	VA	MT	EQ	OP	CH	CO	ES	PO
1	10	12	CALEFEITAGEM DE JUNTAS	✓											✓				
2	10	12	MARCAS DE FITA									X			X				
3	20	2								X					X				
4	20	12	ONDULAÇÃO				X		X						X	X			
5	10	5	VALORES DE ESPESSURA DE TINTA ELEVADOS (GERAL)									X			X				

PT - PONTUAÇÃO
10 - Defeito menor
20 - Defeito maior
30 - Defeito grave

FASE DE APLICAÇÃO
P.E.-Pintura de Estruturas
P.S.-Preparação de Superfície
P.R.-Aplicação de Primário
R.P.-Regularização de Superfície (Primário)
S.U.-Aplicação de Sub-Capa
R.S.-Regularização de Superfície (Sub-Capa)
C.B.-Aplicação de Côr Base
F.A.-Aplicação de Faixas
V.A.-Aplicação de Verniz de Acabamento

ORIGEM
MT - Materiais
EQ - Equipamentos
OP - Operadores
CH - Chapeamento
CO - Componentes
ES - Estrutura
PO - Projecto

95/08/31 | MF

DFG 334 A

	CHEFE DE EQUIPE			PREPARADOR DE TINTAS			APLICADOR			COD. EQUIP.
	DATA	NOME	Nº	DATA	NOME	Nº	DATA	NOME	Nº	
PE	95.2.10	Baia	0628	95.2.16	Davide	4911	95.2.10	Davide	4911	513258
PS										
PR										
RP										
SU	95.2.13	Baia	0628	95.2.15	Baia	0628	95.2.13	Rocha	5107	571961
RS										
CB	95.2.29	J. Baia	3628	95.2.27	J. Baia	3628	95.2.27	Fonseca		553354
FA	95.2.29	A. Lima	3022	95.2.29	Baia	3322	95.2.27	Tadeu	4900	" "
VA	95.2.29	J. Baia	3628	" "	J. Baia	3628	" "	Fonseca	"	" "

P.E.→Pintura de Estruturas
P.S.→Preparação de Superfície
P.R.→Aplicação de Primário
R.P.→Regularização de Superfície (Primário)
S.U.→Aplicação de Sub-Capa
R.S.→Regularização de Superfície (Sub-Capa)
C.B.→Aplicação de Côr Base
F.A.→Aplicação de Faixas
V.A.→Aplicação de Verniz de Acabamento

CÓDIGO DE DEFEITOS

1. - Lixo
2. - Escorridos
3. - Casca de Laranja
4. - Riscos de lixa
5. - Espessura
6. - Brilho
7. - Aderência
8. - Empolamento
9. - Crateras
10. - Pulverização Seca
11. - Côr
12. - Outros - Caso se use este código, deverá obrigatóriamente ser mencionado o defeito respectivo nas "Descrisões das deficiências"

CRITÉRIO DE PONTUAÇÃO

10 - Defeito menor.
Visivel somente por especialistas.
Correcção opcional.

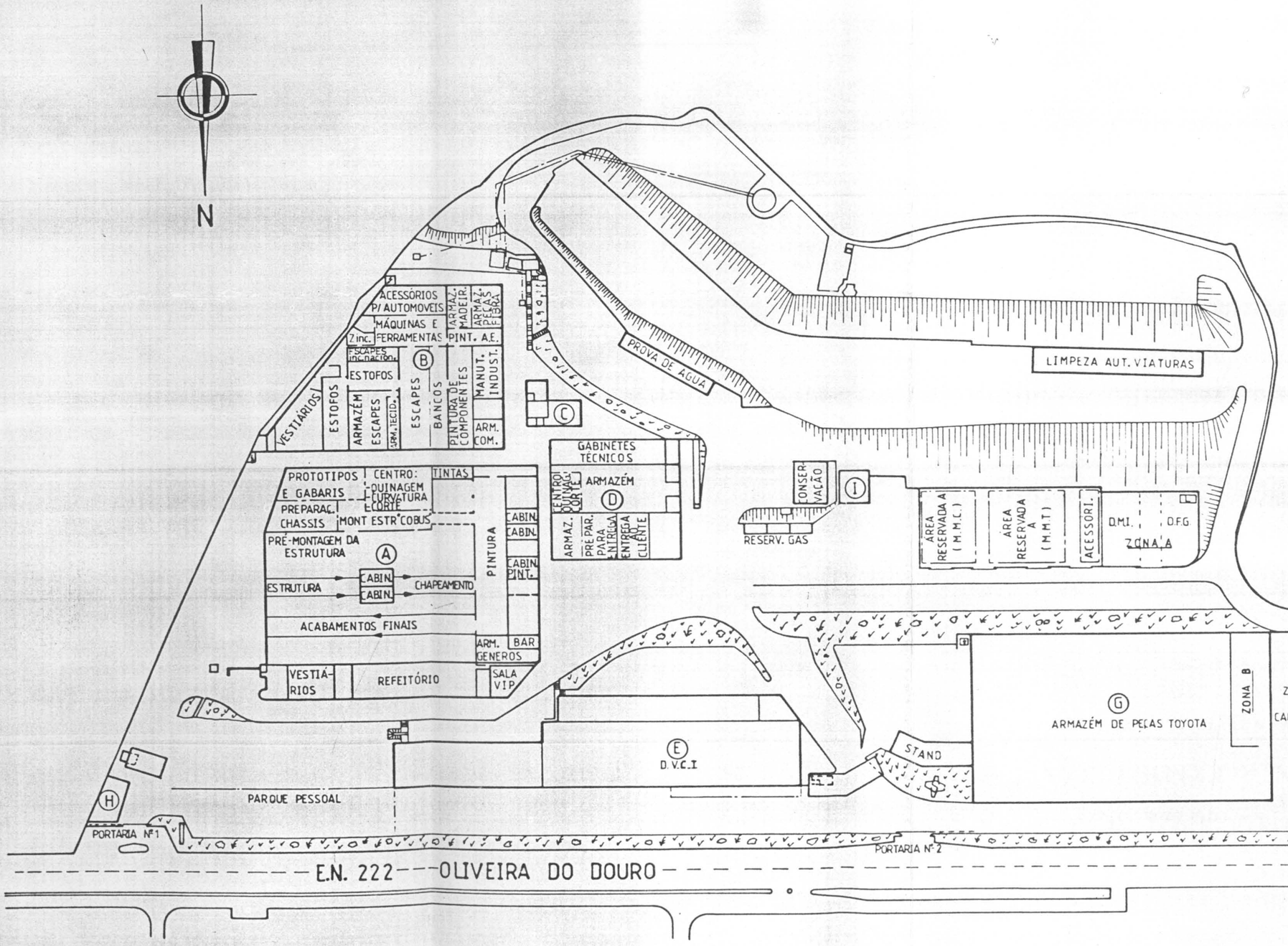
20 - Defeito maior.
Defeito visivel que poderá pôr em causa a estética da viatura.
Deverá ser corrigido.

30 - Defeito grave.
Defeito visivel, ou mensurável, que põe em causa, para além da estética, o sistema de protecção da viatura.
Deverá ser obrigatóriamente corrigido.

ANEXO 2

DISTRIBUIÇÃO											
DGCP	DGCM	DGCM	DGE						DGCGS	DGCGA	DGCGE
2	1	1	1								

AREA TOTAL COBERTA	43540 m²
EDIFICIO A	13725 m²
" B	6532 m²
" C	429 m²
" D	4269 m²
" E	6460 m²
" F	395 m²
" G	11179 m²
" H	297 m²
" I	180 m²
PORTARIA Nº1	34 m²
PORTARIA Nº2	40 m²



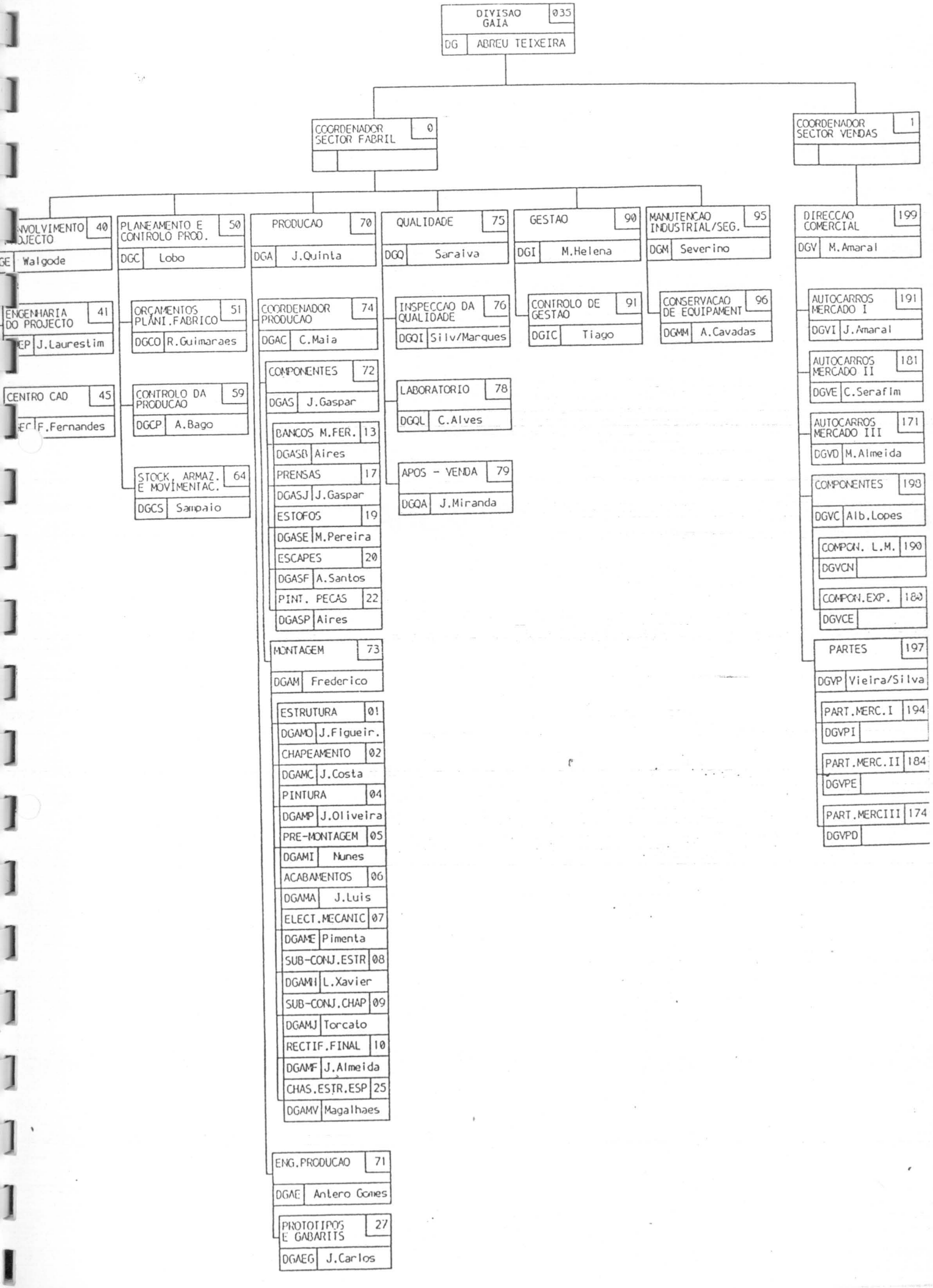
- ☐ ARMAZÉNS
- ☐ PRODUÇÃO DE COMPONENTES
- ☐ SERVIÇOS SOCIAIS
- ☐ MANUTENÇÃO
- ☐ PRODUÇÃO DE AUTOCARROS

L - ESCRITÓRIO P/ APOIO Á ZONA A E ZONA B

I - ESTAÇÃO DE LAVAGEM P/ M.M.T.

ZONA A, ZONA B > ÁREA DESTINADA AO DESALFANDEGAMENTO DE MATERIAIS CONFORME NOVO REGIME QUE ESTA LEGISLADO PELO D.L. Nº 16/91 DE 10 JAN.

| | | | | | | | | | | |


DIVISAO GAIA 035
DG ABREU TEIXEIRA
COORDENADOR SECTOR FABRIL 0
COORDENADOR SECTOR VENDAS 1
NVOLVIMENTO 40
OJECTO
GE Walgode
PLANEAMENTO E CONTROLO PROD. 50
DGC Lobo
PRODUCAO 70
DGA J.Quinta
QUALIDADE 75
DGQ Saraiva
GESTAO 90
DGI M.Helena
MANUTENCAO INDUSTRIAL/SEG. 95
DGM Severino
DIRECCAO COMERCIAL 199
DGV M.Amaral
ENGENHARIA DO PROJECTO 41
EP J.Laurestim
ORCAMENTOS PLANI.FABRICO 51
DGCO R.Guimaraes
COORDENADOR PRODUCAO 74
DGAC C.Maia
INSPECCAO DA QUALIDADE 76
DGQI Silv/Marques
CONTROLO DE GESTAO 91
DGIC Tiago
CONSERVACAO DE EQUIPAMENT 96
DGMM A.Cavadas
AUTOCARROS MERCADO I 191
DGVI J.Amaral
AUTOCARROS MERCADO II 181
DGVE C.Serafim
AUTOCARROS MERCADO III 171
DGVD M.Almeida
CENTRO CAD 45
F.Fernandes
CONTROLO DA PRODUCAO 59
DGCP A.Bago
COMPONENTES 72
DGAS J.Gaspar
LABORATORIO 78
DGQL C.Alves
COMPONENTES 193
DGVC Alb.Lopes
COMPON. L.M. 190
DGVCN
COMPON.EXP. 180
DGVCE
STOCK, ARMAZ. E MOVIMENTAC. 64
DGCS Sampaio
BANCOS M.FER. 13
DGASB Aires
PRENSAS 17
DGASJ J.Gaspar
ESTOFOS 19
DGASE M.Pereira
ESCAPES 20
DGASF A.Santos
PINT. PECAS 22
DGASP Aires
APOS - VENDA 79
DGQA J.Miranda
PARTES 197
DGVP Vieira/Silva
PART.MERC.I 194
DGVPI
PART.MERC.II 184
DGVPE
PART.MERCIII 174
DGVPD
MONTAGEM 73
DGAM Frederico
ESTRUTURA 01
DGAMO J.Figueir.
CHAPEAMENTO 02
DGAMC J.Costa
PINTURA 04
DGAMP J.Oliveira
PRE-MONTAGEM 05
DGAMI Nunes
ACABAMENTOS 06
DGAMA J.Luis
ELECT.MECANIC 07
DGAME Pimenta
SUB-CONJ.ESTR 08
DGAMH L.Xavier
SUB-CONJ.CHAP 09
DGAMJ Torcato
RECTIF.FINAL 10
DGAMF J.Almeida
CHAS.ESTR.ESP 25
DGAMV Magalhaes
ENG.PRODUCAO 71
DGAE Antero Gomes
PROTOTIPOS E GABARITS 27
DGAEG J.Carlos

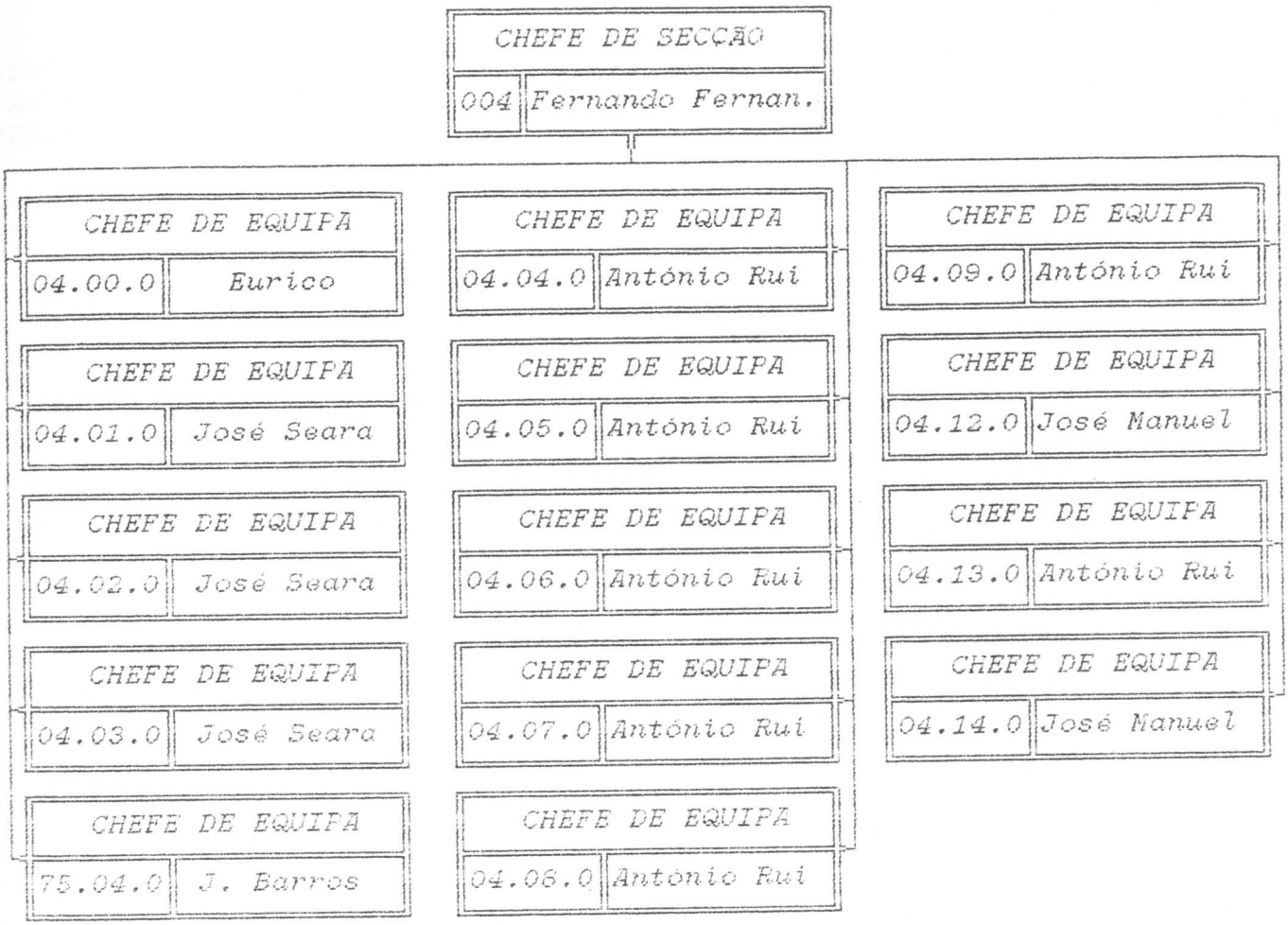
ANEXO 3

Nº	Descrição de operações	Duração	Precedências				
1	Preparação de ferramentas e materiais de protecção	0,3330					
2	Armar as pranchas	0,0660					
3	Lixar a caixilharia (int.)	0,1660	1				
4	Lixar o tejadiilho	1,3333	1				
5	Lixar as sancas e desengordurar (ext.)	0,5330	1	2			
6	Preparar e aplicar poliester na caixilharia	0,5000	3				
7	Lixar a traseira em PRFV e a tampa	2,0000	1				
8	Lixar caixilharia (ext.)	0,0830	1	2			
9	Preparar e aplicar poliester na zona do motor	0,0333	3				
10	Lixar poliester aplicado na caixilharia	0,3333	6	9			
11	Desengordurar painel e saia esq.retirar excesso de sika	0,3333	1				
12	Desengordurar painel e saia dir.retirar excesso de sika	0,2500	1				
13	Raspar as calhas (batentes dos vidros)	0,1160	8				
14	Lixar painel saia e tampa esq.	0,3000	11				
15	Lixar painel saia e tampa dir.	0,3000	12				
16	Lixar interior das portas	0,1660	14	15			
17	Lixar condutas em alumínio	0,1660	16				
18	Limpar c/diluente excesso de dinol na bag.e lixar cantos	0,3000	20				
19	Isolar soalho da bagageira	0,2000	18				
20	Lavar à pistola portas tampas saias e paineis	0,3330	7	14	15	21	
21	Lixar frente em PRFV	1,6660	1				
22	Isolar pavimento tablier e porta de serviço	1,1660	27				
23	Lixar aros das cavas	0,3330	1				
24	Arrumar tubos e aspirador	0,0830	4	14	15	21	28
25	Isolar frente (zona de baixo)	0,4160	20				
26	Lavar tejadilho e paineis (líq.de limpeza)	1,6660	24				
27	Soprar int.do carro assim como tablier pavimento etc	0,4160	10	13			
28	Descer as pranchas	0,0666	5	8			
29	Deslocação do carro do posto para a estufa	0,0660	17	22			
30	Preparação do primário	0,0660	29				
31	Isolar rodas e volante	0,0500	25				
32	Preparar máq.p/aplicação de primário e eq.de protecção	0,1330	29				
33	Aplicação de primário	0,6660	19	26	30	31	32
34	Lavar a máq.e a pistola	0,3000	23	33			
35	Deslocação do carro da estufa para o posto	0,0660	34				
36	Preparação de ferramentas e materiais	0,1666	35				
37	Aplicação de poliester (zonas pingadas e rebitadas)	1,3330	36				
38	Preparar aspirador e lixadeira	0,0830	37				
39	Lixar poliester nos paineis frente e traseira	0,9160	38				
40	Soprar zonas lixadas	0,0500	39				
41	Preparar e aplicar poliester pistolável fr. tr. portas saias tampa:	1,0000	40				
42	Lixar poliester pistolável e primário	2,8330	41				
43	Limpar o pó deixado pelo lixamento e soprar	0,0830	42				
44	Desengordurar c/líq.de limpeza p/detectar imperfeições nas zc	0,2500	43				
45	Lixar aros das cavas	0,3330	33				
46	Dar catados c/poliester nas imperfeições	0,4500	44				
47	Lixar tejadilho parte exterior limpar e soprar	0,2000	46				
48	Lixar catados	0,5000	46				
49	Limpar o pó dos paineis saias tampas e frente	0,0830	47	48			
50	Preparação da sub capa	0,0830	51				
51	Deslocação do carro do posto para a estufa	0,0660	49				
52	Isolar rodas e volante	0,0500	51				
53	Preparar eq.de protecção e pintura	0,1166	51				
54	Aplicação de sub capa	0,6666	50	52	53		
55	Lavagem da máq.e da pistola	0,3333	45	54			
56	Deslocação do carro da estufa para o posto	0,0660	55				
57	Preparar aspirador e lixadeira	0,5000	56				
58	Lixar painel esq.	1,4166	57				
59	Lixar painel dir.	1,4166	57				
60	Lixar frente inferior	0,3166	57				
61	Limpar painel esq. dir. e frente	0,0833	58	59	60		
62	Soprar painel esq. e dir.	0,0500	61				
63	Aplicação líq.de limpeza no painel dir.	0,1666	62				

64	Aplicação liq.de limpeza na frente	0,0666	62				
65	Aplicação liq.de limpeza no painel esq.	0,2000	62				
66	Soprar as zonás c/liq.de limpeza	0,0166	63	64	65		
67	Dar poliester nos catados no painel esq.	0,1166	66				
68	Dar poliester nos catados na frente inferior	0,0666	66				
69	Dar poliester nos catados no painel dir.	0,0833	66				
70	Lixar catados no painel esq.	0,3500	67				
71	Lixar catados no painel dir.	0,2500	69				
72	Lixar catados na frente inferior (à mão)	0,0500	68				
73	Dar retoques c/poliester nos cantos da frente inferior	0,0833	72				
74	Limpar zonas lixadas	0,0333	70	71	73		
75	Retocar as tampas laterais e colocar fita adesiva	0,2666	66				
76	Dar pistolável na painel dir.	0,0500	74				
77	Dar pistolável no painel esq.	0,0833	74				
78	Lixar pequenos retoques na frente inferior e soprar	0,0833	73				
79	Dar pistolável na frente inferior	0,0166	78				
80	Armar as pranchas	0,0333	57				
81	Colocar a prancha transversa	0,0333	80				
82	Lixar tejadilho frente sup. e traseira sup.	0,9833	81				
83	Lixar sanca do l/dir.	0,5833	81				
84	Lixar sanca do l/esq.	0,5833	81				
85	Aplicar liq.e marcar catados no tejadilho	0,1666	82	83	84		
86	Lixar catados tejadilho sancas traseira sup.e frente sup.	0,3666	85				
87	Limpar e soprar tejadilho sanca l/esq.e sanca l/dir.	0,1333	86				
88	Colocar fita de chumbo na sanca do l/esq.	0,0333	87				
89	Lixar limpar e soprar fita de chumbo do l/esq.	0,0666	88				
90	Colocar fita de chumbo na sanca do l/dir.	0,0333	87				
91	Lixar limpar e soprar fita de chumbo do l/dir.	0,0583	90				
92	Dar pistolável no tejadilho sancas tras.sup.e frent.sup.	0,0916	89	91			
93	Desarmar as pranchas	0,0500	92				
94	Preparar lixadeira e aspirador	0,0666	57				
95	Lixar traseira inferior	0,8333	94				
96	Limpar e soprar traseira inferior	0,0333	95				
97	Dar liq.na traseira inf. soprar e dar retoques	0,2333	96				
98	Dar poliester na traseira inf.	0,3000	97				
99	Limpar interior do carro	0,2000	57				
100	Lixar catados na traseira inf.	0,2160	98				
101	Soprar traseira inf.	0,1333	100				
102	Soprar o interior do carro	0,0333	99				
103	Dar pistolável na traseira superior	0,0500	101				
104	Deslocação do carro do posto para a estufa	0,0666	76	77	79	93	103
105	Soprar o carro	0,3083	104				
106	Limpar a estufa de pintura	0,0833	104				
107	Lavagem do carro	0,4500	107				
108	Isolamento do carro (tablier rodas e frente inf.)	0,4000	102				
109	Limpezas gerais	0,3000	107				
110	Transporte da máq. e praparação do esmalte	0,1666	104				
111	Aplicação do esmalte	2,1666	106	108	109	110	
112	Lavagem da máq. e da pistola	0,3333	111				
113	Deslocação do carro da estufa para o posto	0,0666	112				
114	Preparar papel para o isolamento	0,2500	113				
115	Isolar paineis traseira e frente	1,6666	114				
116	Isolar interior	0,5833	114				
117	Aplicar dinol nas entradas de ar sancas e paineis (int.)	0,2500	115	116			
118	Levantar o carro soprar aplicar sika710 e dinol	1,9500	117				
119	Aplicar Valcoat (nas portas)	0,6333	118				
120	Deslocação do carro do posto para a estufa	0,0833	119				
121	Preparar as pistolas para aplicar Epotop	0,0833	120				
122	Aplicar tinta preta nas calhas das cadeiras tab. frent. e suporta	0,4333	120				
123	Lavar interior das tampas	0,0833	120				
124	Aplicar Epotop nas tampas e bagageira	0,5000	121	123			
125	Deslocação do carro da estufa para o posto	0,0833	124				
126	Retirar o isolamento	0,2500	124				
127	Transporte da sec.04 para sec.06 e desta novamente para a s	0,0000	125	126			

128	Lavar a undidade c/diluente por fora	2,8166	127				
129	Isolar vidros paineis saias e tampas	3,6666	128				
130	Despolir o tejadilho	0,5833	129				
131	Limpar as baterias e isolar	0,4166	129				
132	Isolar e pintar o interior da bagageira da traseira	0,4166	129				
133	Isolamento da frente e despolir perfis	2,1666	129				
134	Pintar a bag.de trás (zona do guarda-vento) e int.da tampa	2,1666	132				
135	Despolir perfis e traseira	2,0000	130				
136	Limpar a tampa dos fusíveis pintar e acertar a mesma	1,5000	129				
137	Isolar a bag.de trás dar catados nos perfis e lixar	1,5000	133	134	135		
138	Lavar pára-choques tra. tejad. boleados portas e tampa para r	1,7500	133	134	135		
139	Isolar tejadilho sancas e aplicar primário	0,7500	137				
140	Lavar interior e isolar o pavimento	1,5000	136				
141	Deslocação do carro do posto para a estufa	0,0660	138	139			
142	Rectificações no isolamento	0,2500	141				
143	Soprar o carro na estufa	0,1666	142				
144	Passar tack rag (1ªvez)	0,1666	143				
145	Preparar pistola e tinta (Toy 138 cinzento)	0,1666	141				
146	Aplicar Toy 138 cinz. (1ªdemão)	0,5000	144	145			
147	Aplicar Toy 138 cinz. (2ªdemão)	0,4333	146				
148	Secagem (1ªvez)	0,3333	147				
149	Isolamento	1,6000	148				
150	Soprar	0,0660	149				
151	Passar tack rag (2ªvez)	0,2666	150				
152	Aplicar tinta branca (1ªdemão)	0,3333	151				
153	Aplicar tinta branca (2ªdemão)	0,2666	152				
154	Secagem (2ªvez)	0,0833	153				
155	Aplicar tinta branca (3ªdemão)	0,1666	154				
156	Retirar isolamento	0,4000	155				
157	Passar tack rag para aplicação do verniz (3ªvez)	0,2166	156				
158	Preparar pistola e o verniz	0,2166	156				
159	Aplicar verniz (1ªdemão)	0,2666	157	158			
160	Secagem (3ªvez)	0,1666	159				
161	Aplicar verniz (2ªdemão)	0,3666	160				
162	Secagem (4ªvez)	0,6666	161				
163	Deslocação do carro da estufa para o posto	0,0666	162				
164	Isolar pintar a preto a frente e lavar	1,1666	163				
165	Limpar as borrachas	2,5000	163				
166	Cumprir relatório elaborado por DGQ	14,1666	163				
167	Isolar as rodas aplicar dinol nas cavas e pintar jantes	1,5000	164				
168	Certificação de pintura efectuado p/colaboradores da sec.10	8,4160	163				
169	Deslocação do carro para a secção seguinte	0,0000	160	165	166	167	168
	Tempo total do processo de pintura (horas)	103,1520	(104 horas)				

ANEXO 4


CHEFE DE SECÇÃO
004 Fernando Fernan.
CHEFE DE EQUIPA
04.00.0 Eurico
CHEFE DE EQUIPA
04.01.0 José Seara
CHEFE DE EQUIPA
04.02.0 José Seara
CHEFE DE EQUIPA
04.03.0 José Seara
CHEFE DE EQUIPA
75.04.0 J. Barros
CHEFE DE EQUIPA
04.04.0 António Rui
CHEFE DE EQUIPA
04.05.0 António Rui
CHEFE DE EQUIPA
04.06.0 António Rui
CHEFE DE EQUIPA
04.07.0 António Rui
CHEFE DE EQUIPA
04.08.0 António Rui
CHEFE DE EQUIPA
04.09.0 António Rui
CHEFE DE EQUIPA
04.12.0 José Manuel
CHEFE DE EQUIPA
04.13.0 António Rui
CHEFE DE EQUIPA
04.14.0 José Manuel

MODELO OPTIMO III INGLES

LISTAGEM DA CARGA DE PESSOAL E TEMPOS DE MONTAGEM POR OPERAÇÃO
DATA: 95.09.12
POSTO: 04.01.0

Nº	NOME DOS COLABORADORES	CATEGORIA
3662	JOSE FERREIRA	PINTOR OF.1ª
3674	JOSE MARIA PINHEIRO SEARA	PINTOR CEQ.
4460	ALFREDO G. GOMES SOARES	SERR. CIV. OF.3ª
4894	JOSE MANUEL JESUS REBELO	SERR. CIV. OF.1ª

	DESCRIÇÃO DAS OPERAÇÕES	TEMPOS	VARIANTE	GC
01	Preparação para aplicação do primário	13.07		
02	Aplicação do primário.	1.30		

TOTAIS PARA O MODELO

ORÇAMENTO	--------->	16.97
PREVISTO:		
- STANDARD	--------->	14.37

MODELO OPTIMO III INGLES

LISTAGEM DA CARGA DE PESSOAL E TEMPOS DE MONTAGEM POR OPERAÇÃO
DATA: 95.09.12
POSTO: 04.02.0

Nº	NOME DOS COLABORADORES	CATEGORIA
1332	PAULO FERNANDO PEREIRA SILVA	PR. PINT. OF.1ª
174	JOSE SILVA GONÇALVES	PINTOR OF.1ª
3731	JOSE MARIA ALVES PEREIRA	PINTOR OF.1ª
5218	ANSELMO MANUEL P. CASTRO	PINTOR OF.1ª
594	ANTONIO PEDRO F. OLIVEIRA	PINTOR OF.3ª

	DESCRIÇÃO DAS OPERAÇÕES	TEMPOS	VARIANTE	GC
01	Preparação para aplicação de sub-capa	8.28		

TOTAIS PARA O MODELO

ORÇAMENTO	--------->	9.78
PREVISTO:		
- STANDARD	--------->	8.28

MODELO OPTIMO III INGLES

LISTAGEM DA CARGA DE PESSOAL E TEMPOS DE MONTAGEM POR OPERAÇÃO
DATA: 95.09.12
POSTO: 04.07.0

Nº	NOME DOS COLABORADORES	CATEGORIA
4049	JOAQUIM A. S. CATARINO	PINTOR OF.1ª
4245	LICINIO FERNANDO O. PEREIRA	PINTOR OF.1ª
4900	JULIO FERREIRA SANTOS	PINTOR OF.1ª
5605	EURICO JOSE R. FERNANDES	PINTOR OF.3ª

	DESCRIÇÃO DAS OPERAÇÕES	TEMPOS	VARIANTE	GC
01	Aplicação de sub-capa	1.40		
02	Preparação e esmaltagem da unidade.	4.40		
03	Lixagem da sub-capa	14.58		

TOTAIS PARA O MODELO

ORÇAMENTO	--------->	24.07
PREVISTO:		
- STANDARD	--------->	20.38

MODELO OPTIMO III INGLES

LISTAGEM DA CARGA DE PESSOAL E TEMPOS DE MONTAGEM POR OPERACAO
DATA: 95.09.12
POSTO: 04.13.0

Nº	NOME DOS COLABORADORES	CATEGORIA
9370	BELARMINO F. J. BARBOSA	PINTOR OF.2ª
4467	AMERICO FERREIRA SILVA	PINTOR OF.1ª

	DESCRIÇÃO DAS OPERAÇÕES	TEMPOS	VARIANTE	GC
01	Tratamento da parte inferior	6.85		
	TOTAIS PARA O MODELO			
	ORÇAMENTO --------->	6.09		
	PREVISTO: - STANDARD --------->	6.85		

MODELO OPTIMO III INGLES

LISTAGEM DA CARGA DE PESSOAL E TEMPOS DE MONTAGEM POR OPERAÇÃO
DATA: 95.09.12
POSTO: 04.14.0

Nº	NOME DOS COLABORADORES	CATEGORIA
0515	FLORENCIO MARTINS ABREU	PINTOR OF.1ª
1228	ANTONIO JORGE OLIVEIRA DUARTE	PINTOR OF.1ª
3062	ALVARO P. ROCHA RODRIGUES	PINTOR OF.1ª
3338	ANTONIO PINTO S. CARVALHO	PINTOR OF.1ª
3449	ANTONIO GOMES	O. MA. BAL. OF.1ª
3694	ANTONIO MARTINS FERREIRA	PINTOR OF.1ª
4240	JOAQUIM M. GOMES SOARES	PINTOR OF.1ª
4421	DOMINGOS COSTA ALVES	O. MA. BAL. OF.1ª
4437	VALDEMAR SILVERIO S. MATOS	PINTOR OF.1ª
4939	MANUEL AUGUSTO A. LOPES	PINTOR OF.2ª
5009	MARIO JORGE C. MENDES	PINTOR OF.1ª
5410	ANTONIO JOAQUIM O. COSTA	PINTOR OF.1ª
5491	JORGE FERRAZ ALVES SOUSA	PINTOR OF.3ª

	DESCRIÇÃO DAS OPERAÇÕES	TEMPOS VARIANTE GC
01	Pintura dos frisos + secagem.	7.10
02	Lavagem da unidade com diluente	2.82
03	Isolar vidros,paineis,saias e tampas.	3.67
04	Despolir o tejadilho	0.58
05	Limpar as baterias e isolar	0.42
06	Isolar e pintar interior da bagageira de trás	0.42
07	Isolamento da frente e despolir perfis.	2.17
08	Pintar a bagageira de tr.e interior da tampa.	2.17
09	Despolir perfis e traseira.	2.00
10	Limpar a tampa de fusiveis,pintar e apertar mesma.	1.50
11	Isolar a bagag.trás,dar catados nos perfis e lixar	1.50
12	Lavar p.choques,tras.tejad.bolead.portas e tampa.	1.75
13	Isolar tejadilho,sancas e aplicar primário.	0.75
14	Lavar o interior e isolar o pavimento.	1.50
15	Isolar,pintar a preto a frente e lavar	1.17
16	Limpar as borrachas	2.50
17	Cumprir relatório elaborado por DGQ	14.17
18	Isolar as rodas,apl.dinol nas cavas e p. jantes	1.50
19	Certificação da pintura efect.p/colaboradores (10)	8.42

TOTAIS PARA O MODELO

ORÇAMENTO	--------->	66.24
PREVISTO:		
- STANDARD	--------->	56.11

TEMPOS MONTAGEM OPTIMO III UK
STANDARD

Nº	DESIGNAÇÃO	TEMPO VAR	GC ORÇAMENTO
**	SECÇÃO: 04		
*	POSTO: 04.01.0		
01	Preparação para aplicação do primário	13.07	15.43
02	Aplicação do primário.	1.30	1.54
*	Subsubtotal *	14.37	16.97
*	POSTO: 04.02.0		
01	Preparação para aplicação de sub-capa	8.28	9.78
*	Subsubtotal *	8.28	9.78
*	POSTO: 04.07.0		
01	Aplicação de sub-capa	1.40	1.65
02	Preparação e esmaltagem da unidade.	4.40	5.20
03	Lixagem da sub-capa	14.58	17.22
*	Subsubtotal *	20.38	24.07
*	POSTO: 04.13.0		
01	Tratamento da parte inferior	6.85	8.09
*	Subsubtotal *	6.85	8.09
*	POSTO: 04.14.0		
01	Pintura dos frisos + secagem.	7.10	8.38
02	Lavagem da unidade com diluente	2.82	3.33
03	Isolar vidros,paineis,saias e tampas.	3.67	4.33
04	Despolir o tejadilho	0.58	0.68
05	Limpar as baterias e isolar	0.42	0.50
06	Isolar e pintar interior da bagageira de trás	0.42	0.50
07	Isolamento da frente e despolir perfis.	2.17	2.56
08	Pintar a bagageira de tr.e interior da tampa.	2.17	2.56
09	Despolir perfis e traseira.	2.00	2.36
10	Limpar a tampa de fusiveis,pintar e apertar mesma.	1.50	1.77
11	Isolar a bagag.trás,dar catados nos perfis e lixar	1.50	1.77
12	Lavar p.choques,tras.tejad.bolead.portas e tampa.	1.75	2.07
13	Isolar tejadilho,sancas e aplicar primário.	0.75	0.89
14	Lavar o interior e isolar o pavimento.	1.50	1.77
15	Isolar,pintar a preto a frente e lavar	1.17	1.38
16	Limpar as borrachas	2.50	2.95
17	Cumprir relatório elaborado por DGQ	14.17	16.73
18	Isolar as rodas,apl.dinol nas cavas e p. jantes	1.50	1.77
19	Certificação da pintura efect.p/colaboradores (10)	8.42	9.94

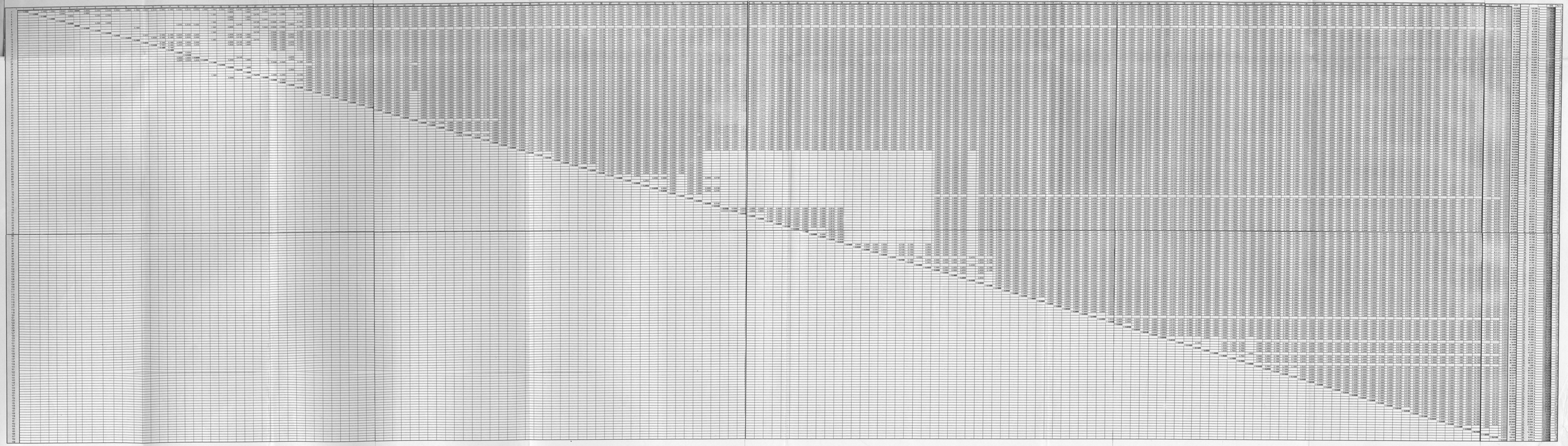
MEIOS DE PRODUÇÃO DA SECÇÃO 04º

Nº	Código do imobilizado	Designação
1	551527	Pistola de pintura Kremlim
2	551710	Pistola de pintura Kremlim
3	551836	Pistola de aplicar Dinol
4	551837	Bomba pneumática Ljungmans Airless
5	551841	Pistola de aplicar Dinol
6	552757	Pistola de pintura Kremlim
7	552791	Agitador pneumático PMC-408 D Mixers
8	552792	Agitador pneumático LS 3000 X
9	552803	Lixadeira pneumática Fein
10	552804	Lixadeira pneumática Fein
11	552805	Lixadeira pneumática Fein
12	552806	Lixadeira pneumática Fein
13	552841	Lixadeira pneumática Fein
14	552842	Lixadeira pneumática Fein
15	552865	Pistola de pintura Kremlim
16	553131	Pistola de pintura de letras
17	553138	Pistola de pintura Sata
18	553149	Pistola de pintura Sata
19	553161	Pistola de pintura Kremlim
20	553216	Lixadeira pneumática Desoutter
21	553314	Pistola de pintura Sata
22	553315	Pistola de pintura Sata
23	553326	Aspirador Fein
24	553327	Aspirador Fein
25	553328	Aspirador Fein
26	553329	Aspirador Fein
27	553330	Aspirador Fein
28	553331	Aspirador Fein
29	553335	Lixadeira pneumática Fein
30	553336	Lixadeira pneumática Fein
31	553337	Lixadeira pneumática Fein
32	553338	Lixadeira pneumática Fein
33	553340	Lixadeira pneumática Fein
34	553342	Lixadeira pneumática Fein
35	553344	Lixadeira pneumática Fein
36	553354	Pistola de pintura Sata
37	553355	Pistola de pintura Sata
38	553356	Pistola de pintura Sata
39	553358	Pistola de pintura Sata
40	553359	Pistola de pintura Sata
41	553361	Pistola de pintura Sata
42	553366	Pistola de pintura Kremlim
43	553367	Pistola de pintura Kremlim
44	553368	Pistola de pintura Kremlim
45	553398	Pistola de pintura Devilbiss
46	553401	Pistola de pintura Kremlim
47	553402	Reservatório de 10 Lt Sata
48	553403	Reservatório de 10 Lt Sata
49	553409	Equipamento p/aplicação de Dinol
50	553416	Viscosímetro Din 4
51	553420	Pistola de pintura Devilbiss
52	553433	Cronómetro Heuer refº603301 1/5 seg.

53	553451	Pistola de pintura Sata
54	553472	Pistola de pintura Atlas Copco
55	553482	Lixadeira pneumática Bosch
56	530501	Pistola de pintura Kremlim
57	530518	Lixadeira triangular Fein
58	530925	Pistola de pintura Devilbiss
59	530938	Pistola de aplicar cola
60	531446	Pistola de pintura Asturo
61	531457	Lixadeira pneumática Fein
62	531486	Pistola de pintura Kremlim
63	531487	Pistola de pintura Kremlim
64	531490	Cronómetro Heuer refº602301 1/5 seg.
65	531525	Pistola de pintura Kremlim
66	531526	Balança Omega Portos max.20 Kg.
67	531581	Lixadeira pneumática Fein
68	531582	Compressor Puskas 15 Kg. 500lt.
69	531612	Pistola de pintura Devilbiss
70	531617	Viscosímetro Din 4
71	531618	Viscosímetro Ford 4
72	531681	Bomba Ljungmans p/aplicação de dinol
73	531682	Pistola p/aplicação de dinol
74	531698	Pistola Pilot p/cartuchos insonorizante
75	531726	Lixadeira pneumática Telesch
76	531727	Lixadeira Telesch
77	531732	Lixadeira Telesch
78	531733	Lixadeira pneumática Telesch
79	531763	Aspirador industrial Kiekens
80	531788	Pistola Sata c/copo de gravidade
81	531821	Pistola Optima 800
82	531822	Pistola Optima 800
83	531823	Pistola de pintura Kremlim
84	531844	Cabine de pintura Nogueira da Costa
85	531845	Tina de tratamento de tubos
86	531846	Tina de tratamento de tubos
87	531847	Tina de tratamento de tubos
88	531848	Cabine de pintura de estrutura
89	531867	Pistola p/aplicação de cola Winchester
90	550724	Pistola de pintura Kremlim
91	550725	Pistola de pintura Kremlim
92	550726	Pistola de pintura Kremlim
93	550728	Pistola de pintura Kremlim
94	550730	Pistola de pintura Kremlim
95	550731	Pistola de pintura Kremlim
96	550747	Pistola de traços Pilot
97	550755	Pistola de aplicar Dinol Ljungmans
98	550770	Bomba pneumática de pintura Atals Copco
99	550774	Bomba p/aplicação Dinol Ljungmans
100	550799	Lixadeira pneumática Fein
101	550800	Lixadeira pneumática Fein
102	550802	Lixadeira pneumática Fein
103	550803	Lixadeira pneumática Fein
104	550804	Lixadeira pneumática Fein
105	550806	Lixadeira pneumática Fein
106	550807	Lixadeira pneumática Fein
107	550808	Lixadeira pneumática Fein
108	550838	Lixadeira pneumática Desoutter

109	550839	Lixadeira pneumática Desoutter
110	550840	Lixadeira pneumática Desoutter
111	554002	Equipamento de lavagem de pistolas
112	554010	Aspirador industrial Fein
113	554011	Máquina doseadora de betume
114	554043	Aspirador industrial Fein
115	554104	Cabine de pintura OMIA
116	554105	Cabine de pintura OMIA
117	554106	Cabine de pintura OMIA
118	554111	Aspirador industrial Bvc
119	554112	Bomba doseadora de betume
120	554117	Aspirador industrial Fein
121	554118	Aspirador industrial Fein
122	554123	Aspirador industrial Fein
123	554130	Aspirador industrial Fein
124	554147	Aspirador industrial Bvc
125	554156	Bomba de aplicar Tectyl Wiwa
126	554158	Bomba de misturar diluente
127	554162	Plataforma rolante Tegopi
128	554171	Máquina doseadora de betume
129	554204	Pistola de aplicar betume
130	554205	Pistola p/aplicação de Valvoline Wiwa
131	554206	Pistola de aplicar Tectyl Wiwa
132	554207	Pistola de aplicar Tectyl Wiwa
133	554208	Pistola de aplicar Mebom
134	554209	Pistola de pintura Sata
135	554212	Bomba de aplicar Tectyl
136	554213	Máquina de aplicar poliuretano
137	554214	Bomba de aplicar Tectyl Wiwa
138	554351	Pistola de pintura Sata

ANEXO 5



ANEXO 6

c1	16	c4	56
c2	8		
c3	24		

Posto	Nº	Duração	Somatório	c-Somat.	c´-Somat.
04.01	1	0,3330	0,3330	15,6670	
	21	1,6660	1,9990	14,0010	
	11	0,3333	2,3323	13,6677	
	12	0,2500	2,5823	13,4177	
	14	0,3000	2,8823	13,1177	
	15	0,3000	3,1823	12,8177	
	7	2,0000	5,1823	10,8177	
	4	1,3333	6,5156	9,4844	
	3	0,1660	6,6816	9,3184	
	6	0,5000	7,1816	8,8184	
	2	0,0660	7,2476	8,7524	
	5	0,5330	7,7806	8,2194	
	8	0,0830	7,8636	8,1364	
	10	0,3333	8,1969	7,8031	
	13	0,1160	8,3129	7,6871	
	27	0,4160	8,7289	7,2711	
	28	0,0666	8,7955	7,2045	
	24	0,0830	8,8785	7,1215	
	26	1,6660	10,5445	5,4555	
	22	1,1660	11,7105	4,2895	
	20	0,3330	12,0435	3,9565	
	16	0,1660	12,2095	3,7905	
	18	0,3000	12,5095	3,4905	
	25	0,4160	12,9255	3,0745	
	17	0,1660	13,0915	2,9085	
	19	0,2000	13,2915	2,7085	
	29	0,0660	13,3575	2,6425	
	32	0,1330	13,4905	2,5095	
	30	0,0660	13,5565	2,4435	
	31	0,0500	13,6065	2,3935	
	33	0,6660	14,2725	1,7275	
	23	0,3330	14,6055	1,3945	
	34	0,3000	14,9055	1,0945	
	35	0,0660	14,9715	1,0285	
	36	0,1666	15,1381	0,8619	0,8619
04.02	37	1,3330	1,3330	6,6670	
	38	0,0830	1,4160	6,5840	
	39	0,9160	2,3320	5,6680	
	40	0,0500	2,3820	5,6180	
	41	1,0000	3,3820	4,6180	
	42	2,8330	6,2150	1,7850	
	43	0,0830	6,2980	1,7020	
	44	0,2500	6,5480	1,4520	
	46	0,4500	6,9980	1,0020	
	48	0,5000	7,4980	0,5020	
	47	0,2000	7,6980	0,3020	
	49	0,0830	7,7810	0,2190	
	51	0,0660	7,8470	0,1530	0,1530
04.07	53	0,1166	0,1166	23,8834	
04.13	50	0,0830	0,1996	23,8004	
	52	0,0500	0,2496	23,7504	
	54	0,6666	0,9162	23,0838	
	45	0,3330	1,2492	22,7508	
	55	0,3333	1,5825	22,4175	
	56	0,0660	1,6485	22,3515	
	57	0,5000	2,1485	21,8515	

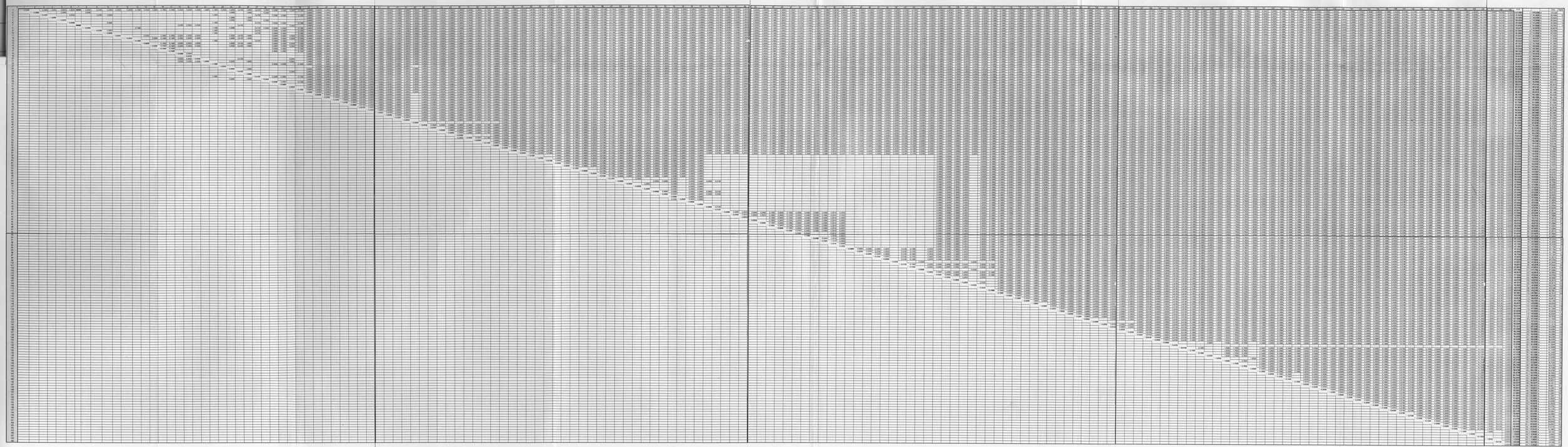
58	1,4166	3,5651	20,4349
59	1,4166	4,9817	19,0183
80	0,0333	5,0150	18,9850
81	0,0333	5,0483	18,9517
60	0,3166	5,3649	18,6351
61	0,0833	5,4482	18,5518
82	0,9833	6,4315	17,5685
62	0,0500	6,4815	17,5185
94	0,0666	6,5481	17,4519
95	0,8333	7,3814	16,6186
65	0,2000	7,5814	16,4186
63	0,1666	7,7480	16,2520
83	0,5833	8,3313	15,6687
84	0,5833	8,9146	15,0854
64	0,0666	8,9812	15,0188
66	0,0166	8,9978	15,0022
85	0,1666	9,1644	14,8356
96	0,0333	9,1977	14,8023
97	0,2333	9,4310	14,5690
86	0,3666	9,7976	14,2024
98	0,3000	10,0976	13,9024
67	0,1166	10,2142	13,7858
70	0,3500	10,5642	13,4358
69	0,0833	10,6475	13,3525
87	0,1333	10,7808	13,2192
68	0,0666	10,8474	13,1526
71	0,2500	11,0974	12,9026
100	0,2160	11,3134	12,6866
72	0,0500	11,3634	12,6366
73	0,0833	11,4467	12,5533
88	0,0333	11,4800	12,5200
90	0,0333	11,5133	12,4867
89	0,0666	11,5799	12,4201
91	0,0583	11,6382	12,3618
101	0,1333	11,7715	12,2285
74	0,0333	11,8048	12,1952
92	0,0916	11,8964	12,1036
78	0,0833	11,9797	12,0203
77	0,0833	12,0630	11,9370
93	0,0500	12,1130	11,8870
76	0,0500	12,1630	11,8370
103	0,0500	12,2130	11,7870
79	0,0166	12,2296	11,7704
104	0,0666	12,2962	11,7038
105	0,3083	12,6045	11,3955
107	0,4500	13,0545	10,9455
99	0,2000	13,2545	10,7455
102	0,0333	13,2878	10,7122
108	0,4000	13,6878	10,3122
109	0,3000	13,9878	10,0122
110	0,1666	14,1544	9,8456
106	0,0833	14,2377	9,7623
111	2,1666	16,4043	7,5957
112	0,3333	16,7376	7,2624
113	0,0666	16,8042	7,1958
114	0,2500	17,0542	6,9458
115	1,6666	18,7208	5,2792
116	0,5833	19,3041	4,6959
117	0,2500	19,5541	4,4459
118	1,9500	21,5041	2,4959
119	0,6333	22,1374	1,8626
120	0,0833	22,2207	1,7793
121	0,0833	22,3040	1,6960



	123	0,0833	22,3873	1,6127		
	124	0,5000	22,8873	1,1127		
	126	0,2500	23,1373	0,8627		
	125	0,0833	23,2206	0,7794		0,7794
04.14	127	0,0000	0,0000	56,0000		
	128	2,8166	2,8166	53,1834		
	129	3,6666	6,4832	49,5168		
	130	0,5833	7,0665	48,9335		
	132	0,4166	7,4831	48,5169		
	133	2,1666	9,6497	46,3503		
	134	2,1666	11,8163	44,1837		
	135	2,0000	13,8163	42,1837		
	137	1,5000	15,3163	40,6837		
	138	1,7500	17,0663	38,9337		
	139	0,7500	17,8163	38,1837		
	141	0,0660	17,8823	38,1177		
	142	0,2500	18,1323	37,8677		
	137	1,5000	19,6323	36,3677		
	144	0,1666	19,7989	36,2011		
	145	0,1666	19,9655	36,0345		
	146	0,5000	20,4655	35,5345		
	147	0,4333	20,8988	35,1012		
	148	0,3333	21,2321	34,7679		
	149	1,6000	22,8321	33,1679		
	150	0,0660	22,8981	33,1019		
	151	0,2666	23,1647	32,8353		
	152	0,3333	23,4980	32,5020		
	153	0,2666	23,7646	32,2354		
	154	0,0833	23,8479	32,1521		
	155	0,1666	24,0145	31,9855		
	156	0,4000	24,4145	31,5855		
	157	0,2166	24,6311	31,3689		
	158	0,2166	24,8477	31,1523		
	159	0,2666	25,1143	30,8857		
	160	0,1666	25,2809	30,7191		
	161	0,3666	25,6475	30,3525		
	162	0,6666	26,3141	29,6859		
	163	0,0666	26,3807	29,6193		
	166	14,1666	40,5473	15,4527		
	168	8,4160	48,9633	7,0367		
	136	1,5000	50,4633	5,5367		
	164	1,1666	51,6299	4,3701		
	165	2,5000	54,1299	1,8701		
	167	1,5000	55,6299	0,3701		
	140	1,5000	57,1299	-1,1299		
	122	0,4333	57,5632	-1,5632		
	131	0,4166	57,9798	-1,9798		
	75	0,2666	58,2464	-2,2464		
	9	0,0333	58,2797	-2,2797		
	169	0,0000	58,2797	-2,2797		-2,2797

Esta é a 1ªtentativa de equilibragem, agora vamos ter que ajustar à realidade, de qualquer das formas conseguimos poupar um posto e um homem.

ANEXO 7



ANEXO 8

c1	16	c4	56
c2	8		
c3	24		

Posto	Nº	Duração	Somatório	c-Somat.		c´-Somat.
04.01	1	0,3330	0,3330	15,6670		
	21	1,6660	1,9990	14,0010		
	11	0,3333	2,3323	13,6677		
	12	0,2500	2,5823	13,4177		
	14	0,3000	2,8823	13,1177		
	15	0,3000	3,1823	12,8177		
	7	2,0000	5,1823	10,8177		
	4	1,3333	6,5156	9,4844		
	3	0,1660	6,6816	9,3184		
	6	0,5000	7,1816	8,8184		
	2	0,0660	7,2476	8,7524		
	5	0,5330	7,7806	8,2194		
	8	0,0830	7,8636	8,1364		
	9	0,0333	7,8969	8,1031		
	10	0,3333	8,2302	7,7698		
	13	0,1160	8,3462	7,6538		
	27	0,4160	8,7622	7,2378		
	28	0,0666	8,8288	7,1712		
	24	0,0830	8,9118	7,0882		
	26	1,6660	10,5778	5,4222		
	22	1,1660	11,7438	4,2562		
	20	0,3330	12,0768	3,9232		
	16	0,1660	12,2428	3,7572		
	18	0,3000	12,5428	3,4572		
	25	0,4160	12,9588	3,0412		
	17	0,1660	13,1248	2,8752		
	19	0,2000	13,3248	2,6752		
	29	0,0660	13,3908	2,6092		
	32	0,1330	13,5238	2,4762		
	30	0,0660	13,5898	2,4102		
	31	0,0500	13,6398	2,3602		
	33	0,6660	14,3058	1,6942		
	23	0,3330	14,6388	1,3612		
	34	0,3000	14,9388	1,0612		
	35	0,0660	15,0048	0,9952		
04.01	36	0,1666	15,1714	0,8286		0,8286
04.02	37	1,3330	1,3330	6,6670		
	38	0,0830	1,4160	6,5840		
	39	0,9160	2,3320	5,6680		
	40	0,0500	2,3820	5,6180		
	41	1,0000	3,3820	4,6180		
	42	2,8330	6,2150	1,7850		
	43	0,0830	6,2980	1,7020		
	44	0,2500	6,5480	1,4520		
	46	0,4500	6,9980	1,0020		
	48	0,5000	7,4980	0,5020		
	47	0,2000	7,6980	0,3020		
	49	0,0830	7,7810	0,2190		
04.02	51	0,0660	7,8470	0,1530		0,1530
04.07	53	0,1166	0,1166	23,8834		
04.13	50	0,0830	0,1996	23,8004		
	52	0,0500	0,2496	23,7504		
	54	0,6666	0,9162	23,0838		
	45	0,3330	1,2492	22,7508		
	55	0,3333	1,5825	22,4175		
	56	0,0660	1,6485	22,3515		

57	0,5000	2,1485	21,8515	
58	1,4166	3,5651	20,4349	
59	1,4166	4,9817	19,0183	
80	0,0333	5,0150	18,9850	
81	0,0333	5,0483	18,9517	
60	0,3166	5,3649	18,6351	
61	0,0833	5,4482	18,5518	
82	0,9833	6,4315	17,5685	
62	0,0500	6,4815	17,5185	
94	0,0666	6,5481	17,4519	
95	0,8333	7,3814	16,6186	
65	0,2000	7,5814	16,4186	
63	0,1666	7,7480	16,2520	
83	0,5833	8,3313	15,6687	
84	0,5833	8,9146	15,0854	
64	0,0666	8,9812	15,0188	
66	0,0166	8,9978	15,0022	
85	0,1666	9,1644	14,8356	
96	0,0333	9,1977	14,8023	
97	0,2333	9,4310	14,5690	
86	0,3666	9,7976	14,2024	
98	0,3000	10,0976	13,9024	
67	0,1166	10,2142	13,7858	
70	0,3500	10,5642	13,4358	
69	0,0833	10,6475	13,3525	
87	0,1333	10,7808	13,2192	
68	0,0666	10,8474	13,1526	
75	0,2666	11,1140	12,8860	
71	0,2500	11,3640	12,6360	
100	0,2160	11,5800	12,4200	
72	0,0500	11,6300	12,3700	
73	0,0833	11,7133	12,2867	
88	0,0333	11,7466	12,2534	
90	0,0333	11,7799	12,2201	
89	0,0666	11,8465	12,1535	
91	0,0583	11,9048	12,0952	
101	0,1333	12,0381	11,9619	
74	0,0333	12,0714	11,9286	
92	0,0916	12,1630	11,8370	
78	0,0833	12,2463	11,7537	
77	0,0833	12,3296	11,6704	
76	0,0500	12,3796	11,6204	
93	0,0500	12,4296	11,5704	
103	0,0500	12,4796	11,5204	
79	0,0166	12,4962	11,5038	
104	0,0666	12,5628	11,4372	
105	0,3083	12,8711	11,1289	
107	0,4500	13,3211	10,6789	
99	0,2000	13,5211	10,4789	
102	0,0333	13,5544	10,4456	
108	0,4000	13,9544	10,0456	
109	0,3000	14,2544	9,7456	
110	0,1666	14,4210	9,5790	
106	0,0833	14,5043	9,4957	
111	2,1666	16,6709	7,3291	
112	0,3333	17,0042	6,9958	
113	0,0666	17,0708	6,9292	
114	0,2500	17,3208	6,6792	
115	1,6666	18,9874	5,0126	
116	0,5833	19,5707	4,4293	
117	0,2500	19,8207	4,1793	
118	1,9500	21,7707	2,2293	
119	0,6333	22,4040	1,5960	

	120	0,0833	22,4873	1,5127		
	121	0,0833	22,5706	1,4294		
	123	0,0833	22,6539	1,3461		
	124	0,5000	23,1539	0,8461		
	122	0,4333	23,5872	0,4128		
	126	0,2500	23,8372	0,1628		
04.07	125	0,0833	23,9205	0,0795		0,0795
04.14	127	0,0000	0,0000	56,0000		
	128	2,8166	2,8166	53,1834		
	129	3,6666	6,4832	49,5168		
	130	0,5833	7,0665	48,9335		
	132	0,4166	7,4831	48,5169		
	133	2,1666	9,6497	46,3503		
	134	2,1666	11,8163	44,1837		
	135	2,0000	13,8163	42,1837		
	136	1,5000	15,3163	40,6837		
	137	1,5000	16,8163	39,1837		
	138	1,7500	18,5663	37,4337		
	140	1,5000	20,0663	35,9337		
	139	0,7500	20,8163	35,1837		
	141	0,0660	20,8823	35,1177		
	142	0,2500	21,1323	34,8677		
	143	0,1666	21,2989	34,7011		
	144	0,1666	21,4655	34,5345		
	145	0,1666	21,6321	34,3679		
	146	0,5000	22,1321	33,8679		
	147	0,4333	22,5654	33,4346		
	148	0,3333	22,8987	33,1013		
	149	1,6000	24,4987	31,5013		
	150	0,0660	24,5647	31,4353		
	151	0,2666	24,8313	31,1687		
	152	0,3333	25,1646	30,8354		
	153	0,2666	25,4312	30,5688		
	154	0,0833	25,5145	30,4855		
	155	0,1666	25,6811	30,3189		
	156	0,4000	26,0811	29,9189		
	157	0,2166	26,2977	29,7023		
	158	0,2166	26,5143	29,4857		
	159	0,2666	26,7809	29,2191		
	160	0,1666	26,9475	29,0525		
	161	0,3666	27,3141	28,6859		
	162	0,6666	27,9807	28,0193		
	163	0,0666	28,0473	27,9527		
	166	14,1666	42,2139	13,7861		
	168	8,4160	50,6299	5,3701		
	164	1,1666	51,7965	4,2035		
	165	2,5000	54,2965	1,7035		
	167	1,5000	55,7965	0,2035		
	122	0,4333	56,2298	-0,2298		
	131	0,4166	56,6464	-0,6464		
04.14	169	0,0000	56,6464	-0,6464		-0,6464
Total			103,5853			

Posto	NºColab.
04.01	2
04.02	1
04.07	3
04.14	7
Total	13

Esta é a 2ªtentativa de equilibragem, agora vamos ter que ajustar à realidade, para isso vamos utilizar o método 'trial-error',

ANEXO 9

	Situação Actual				Situação após a 1ªtentativa				Situação após a 2ªtentativa			
P.de Trab.	T.Prod.	NºColab.	T. de M.O.	T.Morto	T.Prod.	NºColab.	T. de M.O.	T.Morto	T.Prod.	NºColab.	T. de M.O.	T.Morto
04.01	14,94	2	16	1,06	15,14	2	16	0,86	15,17	2	16	0,83
04.02	8,35	1	8	-0,35	7,85	1	8	0,15	7,85	1	8	0,15
04.07	16,74	3	24	7,26	23,22	3	24	0,78	23,92	3	24	0,08
04.13	6,92	1	8	1,08	0	0	0	0	0	0	0	0
04.14	56,21	7	56	-0,21	58,28	8	64	5,72	56,65	7	56	-0,65
Total	103,16	14	112	8,84	104,49	14	112	7,51	103,59	13	104	0,41

A unidade de tempo utilizada é a

	T.Morto	Redução
Sit.actual	8,84	100%
Sit.pós 1ªtent.	7,51	-15%
Sit.pós 2ªtent.	0,41	-96%


FACULDADE DE ENGENHARIA
UNIVERSIDADE DO PORTO
BIBLIOTECA

0000068049