Relatório do trabalho realizado ao abrigo do programa PRODEP, medida 4.3, subordinado ao tema "Técnicas de simulação, controlo e optimização para sistemas autónomos - Aplicações na robótica e em processos de manufactura" - Acção 1.62.

Raul Carlos Machado do Carmo Azevedo

Porto, 21 Novembro 93

ANÁLISE DO PROCESSO PRODUTIVO DE UMA FÁBRICA DE CALÇADO, UTILIZANDO A SIMULAÇÃO.

621.3(047.3)/LEEC 1992/AZER
25 09 06

PRODEP
Medida 4.3

Referência do Projecto: 4.3 / 7 / 4 / 92 / 93

Parecer Científico

sobre o estágio de

Raul Carlos Machado do Carmo Azevedo

(Acção n. 1.62)

O estagiário realizou sob minha orientação um trabalho de estágio sobre o tema que lhe foi fixado, tendo sido de uma forma geral alcançados os objectivos científicos inicialmente propostos.

A orientação científica incidiu sobre a definição de objectivos, fornecimento de bibliografia ou acesso à mesma e verificação dos progressos conseguidos.

Esta orientação foi exercida em coordenação com o supervisor do estagiário, na instituição onde fisicamente foi realizada a parte substancial dos trabalhos.

O nível de qualidade do trabalho executado, que se pode deduzir do relatório elaborado pelo estagiário, é bom, ao nível do grau de formação académica do estagiário. O relatório resume e descreve, de forma correcta, as fases dos estudos realizados e dos desenvolvimentos algorítmicos propostos e implementados.

Jorge Pinho de Sousa
Professor Auxiliar da FEUP/DEEC

PRODEP
Medida 4.3

Referência do Projecto: 4.3 / 7 / 4 / 92 / 93

Parecer Técnico

sobre o estágio de

Raul Carlos Machado do Carmo Azevedo

(Acção n. 1.62)

Acompanhei os trabalhos de estágio realizados no INESC pelo aluno e apreciei o relatório final apresentado, considerando que aquele relatório reflecte o trabalho efectivamente realizado.

Sou de parecer que foram atingidos os objectivos inicialmente propostos no plano de trabalhos.

João Falcão e Cunha
Supervisor do Estágio (INESC)

Índice

1. Introdução quantitativa ao funcionamento da Growela - uma visão histórica.

1.1. Introdução.

1.2. Metodologia de análise.

1.3. Análise de resultados.

a) Taxas de produção.

b) Tempos de produção.

c) Análise da afectação dos modelos às linhas.

1.4. Conclusões finais.

2. Análise do processo produtivo da Growela.

2.1. Introdução.

2.2. Enquadramento da gestão de operações.

2.3. Descrição do processo produtivo.

a) Corte.

b) Costura.

c) Montagem.

2.4. Breve referência ao planeamento de operações.

2.5 Conclusões.

3. O modelo de simulação

3.1. Introdução.

3.2. Génese do modelo.

a) Justificação para o seu desenvolvimento.

b) Preocupações centrais na sua construção.

c) Tipo de modelo escolhido.

3.3 Estrutura do modelo.

a) O funcionamento da fábrica.

b) O modelo de simulação visto em linhas gerais.

c) Possibilidades da manipulação do modelo.

3.4. Principais estruturas de dados.

3.5. Principais módulos da simulação.

a) Inicialização do sistema.

b) Módulos básicos do processo de simulação.

3.6 Considerações finais.

Apêndice A - Implementação de regras de distribuição.

Apêndice B - Alterações off-line e on-line de layout´s.

Apêndice C - Grupos de máquinas vs Máquinas individuais.

Apêndice D - Gravação e leitura do estado do sistema.

Apêndice E - Medidas de performance.

1. Introdução quantitativa ao funcionamento da Growela - uma visão histórica.

1.1. INTRODUÇÃO.

Esta secção, baseada na analise de dados históricos da growela, teve um triplo objectivo:

- Quantificação dos tempos que demoram as ordens de fabrico a atravessar cada zona da fabrica, de forma a identificar possíveis pontos de actuação para melhorar o seu desempenho, através da identificação de zonas com atrasos aparentemente desnecessários na produção.

- Recolher dados necessários para implementar simulações realistas de possíveis cenários de reorganização tanto das linhas de produção, como da forma como são geridos os stocks ao longo da produção ou mesmo das regras de lançamento de ordens de fabrico (OF) em produção. Estes dados servem tanto para construir o modelo como para validar os seus resultados.

- Implementar ferramentas que permitam de certa forma automatizar uma possível extensão desta análise a períodos mais longos de tempo.

A análise incidiu sobre o período de produção entre 1 de Fevereiro e 25 de Março do corrente ano, apesar de ser relativamente fácil agora alargar este período temporal através da introdução de mais dados.

Os dados introduzidos foram:

- Para cada dia e em cada uma das duas linhas de produção:
  - a quantidade de cada OF que entrou em fabrico no início do corte.
  - a quantidade de cada OF que passou no controlo de qualidade da saída do corte, da saída da costura e da saída da montagem.

- Para cada OF qual o macro-modelo a que ela pertence.

Poderíamos ainda ter utilizado os dados sobre os planos de produção na saída do corte e na montagem, mas estes diferem no máximo de apenas um dia face aos respectivos controlos de qualidade. Por outro lado, por razões várias consideramos que a informação referente aos controlos de qualidade oferece mais garantias de exactidão.

Esta informação permitiu-nos em linhas gerais calcular os seguintes indicadores para cada dia e cada linha de fabrico.

- Taxas de produção em cada fase do processo produtivo.
- Tempos de progresso entre fases de cada par de sapatos.
- Macro-modelos em curso.

Todos estes índices foram trabalhados de forma a obter estimadores globais (médias, desvios padrões quando possível) para o período de tempo em análise. Estes estimadores serão extremamente importantes para validar os resultados do modelo de simulação.

1.2. METODOLOGIA DE ANÁLISE.

Foram introduzidos os seguintes registos de execução de OF's:

Plano do corte: 348 registos.
Controlo do corte: 303 registos.
Controlo da costura: 556 registos.
Controlo da montagem: 718.

Com estes dados identificamos durante o período em análise 376 OF's diferentes correspondentes a 46755 pares de sapatos. Para todas as OF's identificamos qual a linha (B ou C) em que iam ser produzidas. Para cada uma destas OF's introduzimos também qual o macro-modelo a que pertenciam. Foi posto especial cuidado na correcção de possíveis erros de introdução de dados, verificando a coerência entre a quantidade de sapatos de cada OF em cada fase da produção.

Os resultados desta análise de coerência forma os seguintes:

56% das OF´s apareciam em todas as fases com um desvio médio da quantidade de sapatos face a quantidade média de 1%.

20% das OF's estavam já em produção no inicio do período em análise ou continuavam em produção no fim.

20% das OF's aparecem apenas na montagem sendo resultado da subcontratação.

3% das OF´s tem um comportamento completamente anormal.

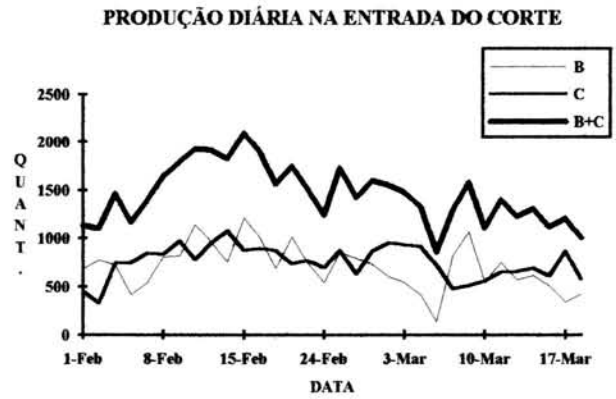
Temos assim que a amostragem apesar de não muito grande é aceitavelmente coerente.

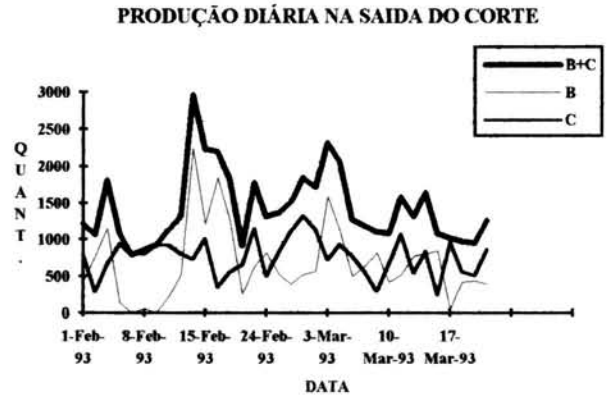
Note-se que a produção real da fabrica difere destes dados apenas do montante de pares tipo "B" produzido, que é em condições normais relativamente baixo (posteriormente será interessante inclui-los nesta análise).

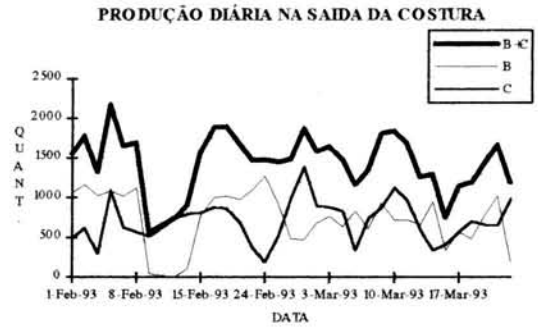
1.3. ANÁLISE DE RESULTADOS.

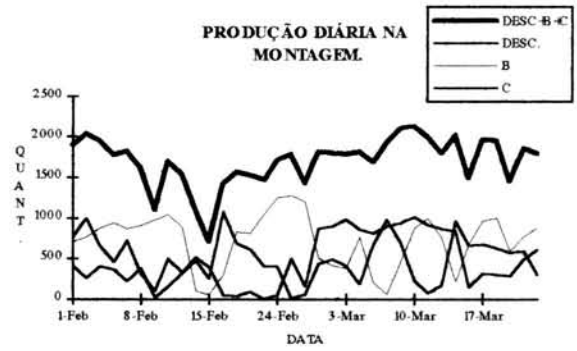
a) Taxas de produção.

Analisando os dados anteriores foi possível calcular as taxas de produção diárias em cada fase do processo em cada dia apresentadas nos gráficos seguintes.









Para evitar interpretações erradas convém fazer alguns comentários:

A produção diária na entrada do corte foi calculada recorrendo ao que foi realmente feito pelos cortadores em cada dia. Os restantes gráficos representam aquilo que em cada dia passou pelo controlo de qualidade. Evidentemente que a interpretação neste último caso deve ser a taxa de produção no controlo de qualidade e não a taxa de produção global.

O gráfico com a produção na saída da montagem deve ser analisado com especial precaução. De facto, para a montagem entram também gáspeas vindas da subcontratação. Esta é no entanto normalmente concentrada na linha chamada "célula de fabrico" que não foi analisada neste estudo. Porém parte da subcontratação entra nas linhas B e C mas infelizmente é, com os dados que dispomos, impossível saber em qual das duas. Esta produção é identificada no gráfico por DESC (linha desconhecida).

Outro problema que afecta apenas a linha C é o facto de parte da sua produção poder passar para a "célula de fabrico". Através da análise dos dados da "célula", concluímos que a razão para o vale na produção da linha C entre 15 e 24 de fevereiro foi exactamente a passagem da sua produção para a "célula".

A informação sobre as taxas médias de produção está resumida no quadro seguinte (pelas razões já apresentadas não foram calculados as taxas para a montagem).

P-CE	Linha B	Linha C	Total
Valor médio x	707	75	1461
Desvio padrão s	237	171	300
Variabilidade x/s	34%	23%	21%

P_CC	Linha B	Linha C	Total
Valor médio x	674	760	1435
Desvio padrão s	508	260	494
Variabilidade x/s	75%	34%	34.4%

P-CT	Linha B	Linha C	Total
Valor médio x	731	706	1436
Desvio padrão s	345	256	375
Variabilidade x/s	47%	36%	26%

P-CE - Produção na entrada do corte.
P-CC - Produção na saída do corte.
P-CT - Produção saída da costura.

Destas tabelas é possível concluir que existe uma porventura exagerada variabilidade nas taxas de produção diárias. Isto tem evidentemente efeitos negativos dado que obriga à criação de stocks que atenuem estas variações.

Um acontecimento interessante aparece por volta do dia 8 de fevereiro na saída do corte na linha B. Nesta altura, durante algum tempo não houve produção para esta linha no controlo de qualidade do corte (relembre-se que a saída do corte é comum às linhas B e C, não representando isto que não se trabalhou, mas que se trabalhou apenas em OF's da linha C). Este vale na produção repercutem-se uns dias mais tarde na produção da saída da costura na linha B, e posteriormente na saída da montagem.

b) Tempos de produção.

A análise dos tempos de produção foi relativamente difícil, dado a informação existente. De facto, apenas existe informação sobre a quantidade

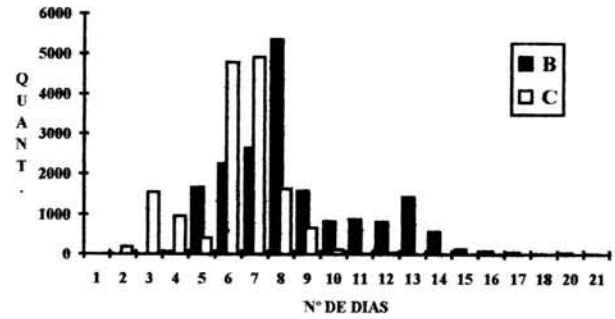
de cada ordem de fabrico feita em cada dia e em cada fase. Isto permite de forma relativamente simples calcular os tempos que cada OF's demora a atravessar cada fase,

mas esta informação tem pouca utilidade prática tanto ao nível da análise do desempenho da fabrica como para validar o modelo de simulação, devido à grande disparidade entre os tamanhos de cada OF.

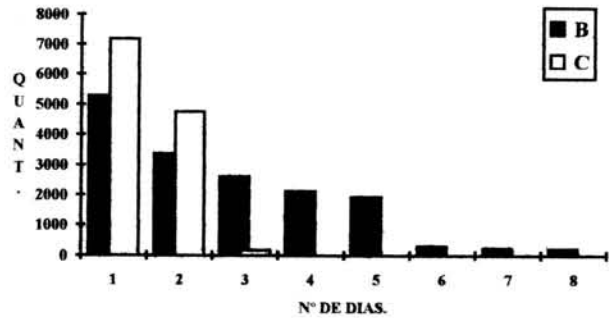
Na realidade o objectivo é saber quanto tempo demora a fazer cada par de sapatos. Para conseguir isto, partimos do princípio que dentro de cada OF, os sapatos são produzidos num esquema FIFO. Esta aproximação não é grave (pensamos !) e permiti-nos fazer um programa em C que extrai exactamente, dos dados que temos, a informação sobre o tempo (em dias) que demora a fazer cada par de sapatos.

Os gráficos seguintes apresentam para cada linha o número de pares de sapatos que demoraram x dias a fazer.

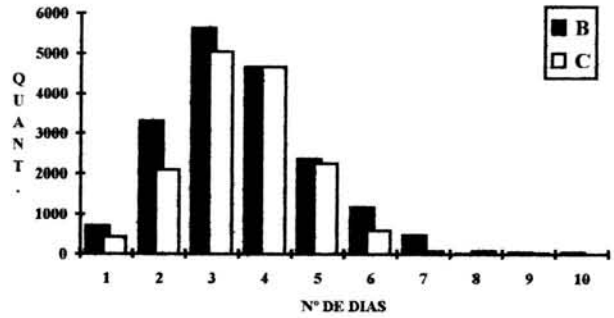
QUANTIDADE vs Nº DE DIAS entre a entrada no corte e a saida da montagem.



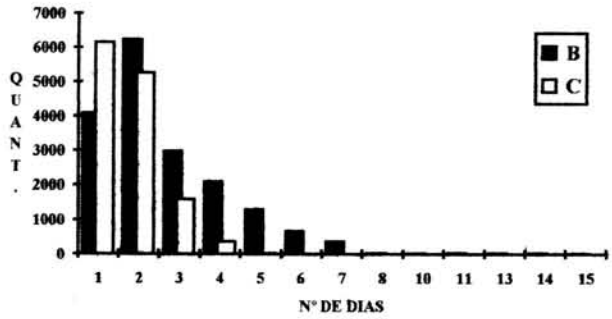
QUANTIDADE vs Nº DE DIAS entre a entrada e a saida do corte.



QUANTIDADE vs Nº DE DIAS entre saida do corte e saida da costura.



QUANTIDADE vs Nº DE DIAS entre saida da costura e saida da montagem.



No quadro seguinte, estão apresentados os valores médios para os tempos de produção nas várias fases:

Linha B	CE-MT	CE-CC	CC-CT	CT-MT
Valor médio	8.7	2.8	3.6	2.7
Desvio padrão	2.7	1.9	1.4	1.7
Variabilidade	31%	68%	39%	63%

Linha C	CE-MT	CE-CC	CC-CT	CT-MT
Valor médio	6.2	1.9	3.6	2.0
Desvio padrão	1.7	1.6	1.4	1.6
Variabilidade	27%	84%	39%	80%-

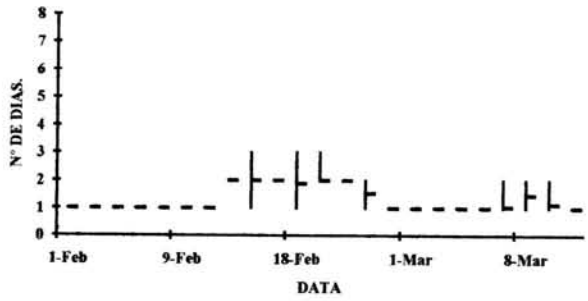
CE-MT - Número de dias entre a entrada no corte e a saída da montagem.
CE-CC - Número de dias entre a entrada no corte e a saída do corte.
CC-CT - Número de dias entre a saída do corte e a saída da costura.

CT-MT - Número de dias entra a saída da costura a saída da montagem.

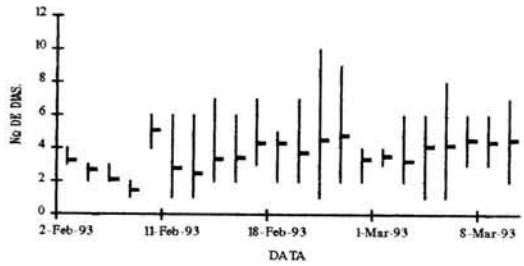
Os gráficos seguintes permitem ter uma ideia da forma como estes tempos variaram ao longo do período de análise.

Por exemplo o gráfico que apresenta o N° de dias desde a saída do corte até á saída na costura na linha B, representa o número de dias, mínimo médio e máximo, que os pare que saíram em cada dia do corte demoraram até sair da costura.

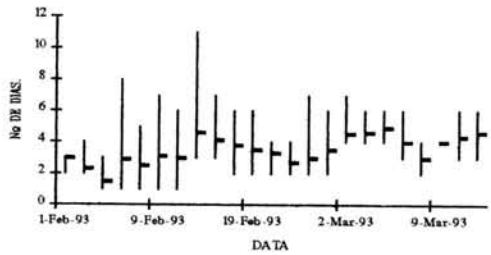
Nº de dias desde a entrada no corte até á saida do corte na LINHA C.



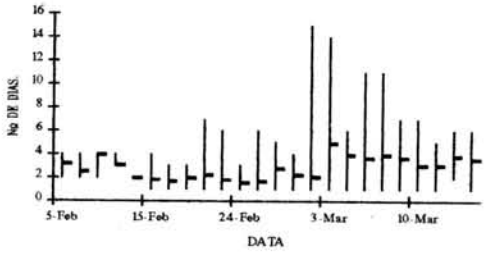
Nº de dias desde a saida do corte até á saida da costura na LINHA B.

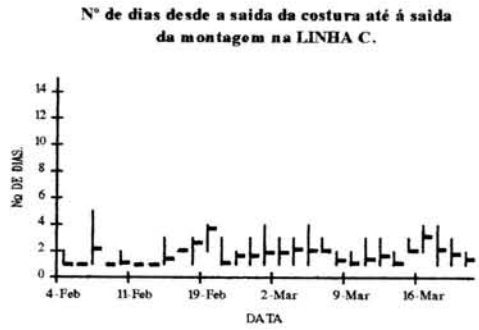


Nº de dias desde a saida do corte até à saida da costura na LINHA C.



Nº de dias desde a saída da costura até á saída da montagem na LINHA B.





Conclusões sobre a análise dos tempos.

Uma análise atenta aos gráficos apresentados, leva à seguinte constatação:
O comportamento da linha C é em geral melhor que o da linha B, excepto na costura, onde é aproximadamente equivalente. A constatação deste facto leva à seguinte importante conclusão: Na costura não se está a tirar proveito da uniformidade dos modelos da linha C. As razões para isto são provavelmente duas: Por um lado a partilha da pré-costura entre as duas linhas, por outro o processo idêntico de distribuição nas duas linhas.

Verifica-se portanto uma melhor performance da linha C no corte e na montagem. Muito provavelmente isto deve-se apenas a um maior cuidado na programação desta linha, com a correspondente poupança nos tempos de stock entre o corte e a costura, e entre a costura e a montagem .

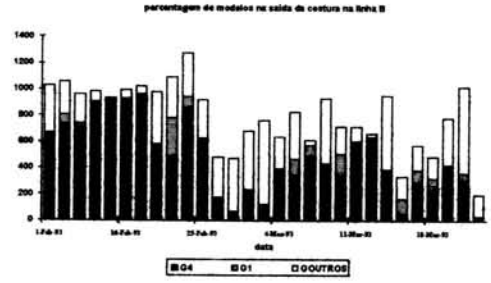
Um facto que ressalta da análise destes dados é a grande variabilidade dos tempos de produção. Por exemplo, apesar de, para a linha B, a média do tempo de produção total ser 8.7 dias úteis, há sapatos que demoram 21 dias úteis a serem produzidos. Esta dispersão bem patente nas relações entre o desvio padrão e a média apresentadas no quadro são evidentemente altamente prejudiciais para qualquer plano de produção, e será um dos nossos objectivos tentar reduzi-la. Pensamos que existe uma forte relação causa-efeito entre as variabilidades das taxas e dos tempos de produção devido ao efeito regularizador dos stocks.

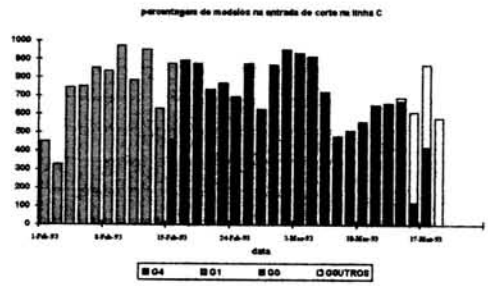
Por estas razões concluímos que talvez mais importante do que minimizar os tempos médios de produção, é regulariza-los diminuindo a sua variância.

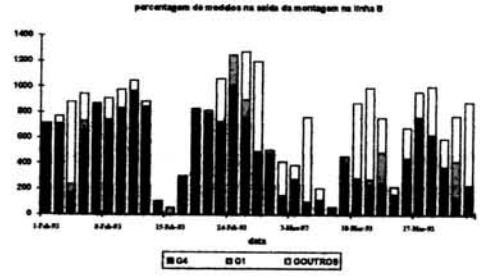
c) Análise da afectação dos modelos às linhas.

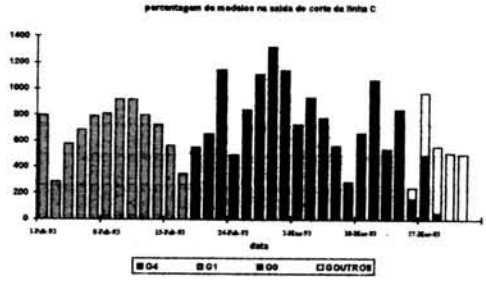
Os gráficos seguintes apresentam a distribuição dos macro-modelos pela produção de cada linha.

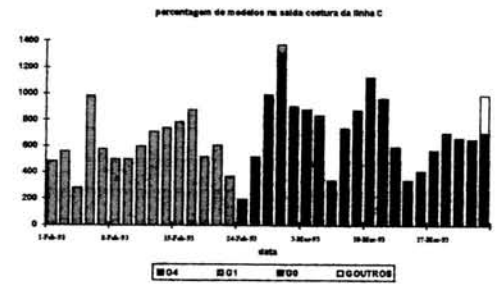
Nota: G0,G1 e G4 correspondem a macro-modelos que nos foram indicados.
GOUTROS são todos os macro modelos que não os anteriores. Este grupo é extremamente diverso sendo constituído por percentagens pequenas de muitos modelos.

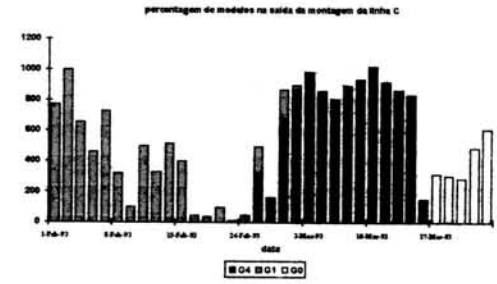


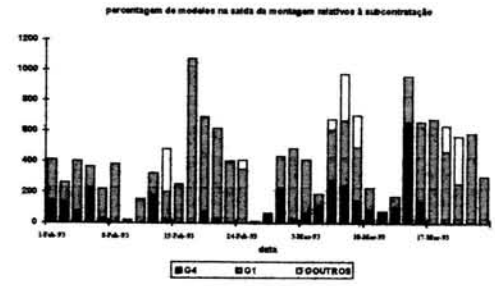












Verifica-se realmente aquilo que estava inicialmente previsto. Isto é, na linha C produz-se grandes blocos do mesmo modelo, sendo a linha B utilizada para produzir modelos diversos. Estes dados não estão ainda completamente analisados, no entanto pensamos que a sua análise permitir-nos-á definir cenários reais de programação de modelos para a simulação.

1.4 Conclusões finais.

Esta análise foi do nosso ponto de vista extremamente interessante, porque nos permitiu ter uma noção quantitativa do funcionamento da Growela. Como resultado concluímos entre outras coisas da necessidade de prestar também atenção à programação na montagem e no corte dado que estas duas fases contribuem com uma percentagem significativa do tempo total em stock. Concluímos também que o facto de a linha B e C

partilharem a saída do corte e a pré-costura introduz dificuldades acrescidas no planeamento, e impede o aproveitamento (na costura) da regularidade dos modelos na linha C. Finalmente, verificamos a necessidade de prestar especial atenção à variabilidade de tempos e taxas de produção resultantes do modelo de simulação.

Por outro lado, este trabalho muniu-nos de um conjunto de ferramentas que nos permitem rapidamente introduzir e analisar mais dados, o que será importante quando estivermos a analisar os resultados da simulação.

2. Análise do processo produtivo da Growela.

2.1. INTRODUÇÃO

O objectivo desta secção é transmitir de uma forma estruturada a informação que fomos adquirindo sobre o funcionamento da Growela, nas visitas que fizemos à fábrica. Devido ao âmbito relativamente bem definido do nosso trabalho, a informação recolhida e aqui apresentada versa apenas sobre alguns pontos específicos que nos interessaram, e não dá portanto uma visão global sobre o funcionamento da fábrica. Em particular, apenas é analisado o processo produtivo em si, não sendo feitas referências a actividades como a gestão dos stocks, gestão de encomendas, gestão de subcontratações, etc.

Esta secção está organizada da seguinte forma:

No **ponto 2.2** fazemos o enquadramento dos problemas que se colocam na gestão diária das operações na fábrica.

No **ponto 2.3** descrevemos o processo produtivo, dando particular importância à pré-costura e costura.

No **ponto 2.4** referimos à forma como as operações são planeadas, e quais os condicionantes deste planeamento.

No **ponto 2.5** apresentamos as conclusões da análise feita.

2.2. ENQUADRAMENTO DA GESTÃO DE OPERAÇÕES.

Observando o funcionamento da fábrica e contactando com alguns dos seus responsáveis, torna-se rapidamente evidente que a produção de sapatos em grandes quantidades e a preços baixos para exportação (como é o caso) é uma actividade muito intensiva em mão de obra, sujeita a fortes pressões competitivas por parte da concorrência e onde o poder negocial dos compradores, pelo volume relativamente alto de transacções

que tem com a empresa, é demasiado grande. Estes factos levam a que empresa se tenda a organizar com recurso a mão de obra barata e pouco qualificada e tenha um processo produtivo pouco flexível e orientado para a produção em massa, com os consequentes níveis elevados de stocks, falhas nos prazos de entrega, faltas de atenção para com os clientes pequenos, pessoal pouco motivado, etc.

Por outro lado, verifica-se que a preocupação da alta gerência com a modernização da fábrica (manifesta por exemplo na recepção, a todos os níveis exemplar, que o nosso projecto teve) e a diversificação dos clientes e modelos produzidos, choca com uma visão demasiadamente orientada para a produtividade dos responsáveis pelas operações, criando assim uma tensão entre objectivos estratégicos e operacionais que impede a implementação de medidas que, no fundo, todos reconhecem serem necessárias mas que de momento estão fora do alcance da empresa.

Os principais problemas que se põe a quem gere diariamente as operações na fábrica são:

-Preço elevado dos materiais usados (pele), impedindo a criação de stocks confortáveis de matérias primas, pelo que existe sempre um risco alto de paragem da produção por falta destas.

-Elevado número de operações manuais a executar muito dependentes da perícia do operador e com tempos de operação difíceis de avaliar correctamente.

-Grande diversidade na forma como cada modelo é produzido, impedindo economias de escala quando são produzidos vários modelos em conjunto.

-Dificuldade em encontrar mão de obra qualificada para as operações mais exigentes (cortar pele por exemplo).

-Grande disparidade nos tamanhos e tipos das encomendas, dificultando um planeamento que permita satisfazer o prazo de entrega a todos os clientes.

-Dificuldade no planeamento de capacidades devido à complexidade dos modelos produzidos, implicando o recurso normal à utilização de horas extraordinárias.

Estes problemas estão, no nosso ponto de vista na base da dificuldade em modernizar o processo produtivo, e uma melhoria na forma como são tratados, seria extremamente importante para permitir avançar para o tratamento dos problemas de índole mais estratégica referidos anteriormente .

2.3. DESCRIÇÃO DO PROCESSO PRODUTIVO.

A produção de um sapato é feita em três fases distintas:

- Corte da pele e dos materiais sintéticos.

- Costura das gáspeas.

- Montagem do sapato.

A costura pode ainda ser subdividida em pré-costura e costura.

Cada uma destas fases usa diferentes tecnologias e coloca problemas específicos, sendo portanto natural a divisão da fábrica em três áreas funcionais correspondendo a cada uma destas fases, mais uma zona de embalagem.

No corte são cortados os materiais que constituem os sapatos. Em particular são recortadas as peles dos sapatos, operação que, devido ao custo deste material, deve ser executada gerando o mínimo de desperdícios, sendo portanto os operários que a executam altamente especializados e caros.

Esta zona é difícil de planear porque está muito sujeita a atrasos nos fornecedores ou falta de qualidade na pele. No entanto, do ponto de vista organizacional, é uma zona simples dado a uniformidade das operações executadas.

Na costura são feitas as gáspeas (a parte de cima do sapato) através de uma série de operações com uma grande componente manual, utilizando normalmente máquinas de costura ou outras aparentemente sem grande complexidade tecnológica.

O problema na costura está na grande variabilidade e quantidade de operações que são executadas (perto de 60 operações diferentes por modelo), onde factores humanos como a perícia das costureiras tem uma grande influência.

A montagem é a zona onde é gerado maior valor acrescentado na produção do sapato, sendo uma zona altamente automatizada, onde numa linha de montagem típica vai sendo dada forma ao sapato.

Na Growela, dado que uma parte da produção do corte e da costura é subcontratada, a montagem toma um papel preponderante do ponto de vista do planeamento, tendo este no fundo o papel de definir que modelos (ou ordens de fabrico)

vão ser montadas em que dia, tomando providencias para que nesse dia as gáspeas tenham saído da costura ou chegado da subcontratação.

Antes de fazer uma descrição mais aprofundada de cada uma destas fases, convém esclarecer alguma terminologia, e especificar a forma como as encomendas são lançadas em produção.

Cada encomenda é dividida em ordens de fabrico (OF) com no máximo 500 pares, sendo cada OF constituída por sapatos de apenas um modelo. Cada OF é, por sua vez, dividida em lotes de 10 pares de sapatos cada, lotes estes que são a unidade mínima que circula na fábrica, correspondendo a cada lote uma caixa.

Para cada modelo existe uma descrição de todas as operações que devem ser executadas, juntamente com o tempo padrão para a execução dessas operações. Esta descrição é codificada num documento intitulado gama operatória, contendo etiquetas com códigos de barras, correspondendo cada etiqueta a cada uma das operações por onde o lote passa. Dentro da caixa de cada lote existe um papel destes que serve para controlar o avanço da produção do lote. Para cada operação feita o operário correspondente retira a etiqueta e guarda-a, permitindo desta forma controlar o avanço de cada lote. A OF a que cada lote pertence é identificada por outro papel que circula dentro da caixa.

Ir-se-á fazer de seguida a análise das três zonas constituintes da fábrica.

a) Corte.

O corte está dividido em duas zonas diferentes: a entrada do corte (zona dos balancés) e a saída do corte.

A primeira, é a zona onde são cortados todos os materiais em máquinas chamadas balancés. Existem dois tipos de balancés: Os balancés de braço móvel onde é cortada a pele, operados por operários designados por cortadores, e os balancés de braço fixo onde são cortados os materiais sintéticos. Cada cortador trabalha independentemente dos restantes, sendo lhe dada pelo encarregado uma certa quantidade de "obra" para executar diariamente.

O posto crítico nesta zona são os balancés de braço móvel, dado o nível de especialização que é exigido a um cortador. Cada cortador detém um jogo de cortantes de vários tamanhos, que são os moldes usados para cortar as peles. Em cada posto de trabalho pode ainda existir um auxiliar que se encarrega de amarrar as peles cortadas em

lotes de dez e de juntar estes lotes em sacos que são depois enviados para a saída do corte.

A saída do corte é uma pequena linha com 4 máquinas, manipuladas por três ou quatro operadoras num sistema do tipo célula de fabrico. Aqui a pele e os materiais sintéticos cortados anteriormente são colocados nas caixas correspondentes aos lotes, e sofrem operações preliminar com o objectivo de os preparar para a costura.

Pelo que nos apercebemos, a zona do corte é de gestão difícil porque é fortemente dependente de entidades externas à fábrica. Em particular, os problemas encontrados foram:

- A existência de atrasos na entrega ou falhas na qualidade das peles por parte dos fornecedores.

- A falta de cortadores qualificados, sendo portanto muito grande a concorrência entre empresas de calçado na disputa dos melhores operários.

- O lançamento de um modelo em produção está dependente da existência dos cortantes (espécie de moldes com a forma a cortar para todos os tamanhos) que são bastante caros, não podendo portanto ser feitos em muito grandes quantidades, e constituindo desta forma uma restrição de capacidade no corte.

Do ponto de vista do processo produtivo em si, o corte é uma zona relativamente bem organizada e sem grandes estrangulamentos na produção ou stocks intermédios (o único estrangulamento é a falta de cortadores especializados). Na realidade, devido ao funcionamento aparentemente bom da saída do corte não existem grandes acumulações de stock, ou se existem são devidas não a um mau funcionamento do corte, mas sim a um mau planeamento dos lançamentos em produção na costura. De facto o funcionamento flexível da saída do corte (as operadoras trabalham num sistema do tipo célula de fabrico, ajudando-se mutuamente quando é necessário) permite resolver rapidamente os problemas que possam acontecer.

b) Costura.

A zona da costura é constituída por três tapetes rolantes duplos ao lado dos quais se colocam quarenta postos de trabalho por tapete. Cada posto é ocupado por uma operária que trabalha numa máquina ou numa bancada para operações manuais. Durante o resto do relatório passaremos a chamar a cada um destes tapetes respectivamente linha A, linha B e linha C.

A circulação dos lotes entre postos é controlada por uma distribuidora, que os envia através do tabuleiro superior do tapete e os recebe através do tabuleiro inferior. Dado que não existe circulação de lotes directamente entre postos, esta operária controla todo o avanço da produção, passando todos os lotes por ela antes de cada operação.

Na linha A são executadas todas as operações de pré-costura. Estas operações podem ser vistas como preparatórias da fase de costura, dado que muitas delas se destinam a dar um tratamento preliminar aos materiais que serão usados na costura. No entanto do ponto de vista de quantidade, tipo e tempo de execução, estas operações são muito semelhantes às operações de costura, sendo portanto esta divisão entre pré-costura e costura bastante arbitrária.

Na linha B e C são executadas as operações de costura. A diferença entre ambas está no facto de a linha C ser dedicada à produção de um modelo de cada vez em grandes quantidades, sendo a linha B utilizada para a produção de modelos diversos em quantidades inferiores. Temos assim que todos os sapatos fazem a pré-costura na linha A, sendo depois enviados para a B ou C conforme a ordem de fabrico a que pertencem.

Existem ainda mais duas linhas na costura: Uma destinada à produção de amostras (para testar novos modelos que serão lançados em produção), tendo esta linha uma meia dúzia de operárias, e outra constituída por um stock de máquinas que não estão de momento a ser utilizadas.

O funcionamento das linhas é o seguinte:

Cada operária trabalha sobre um lote de cada vez tendo ao seu lado um stock de mais um ou dois lotes. Sempre que acaba a operação sobre os dez pares do lote, transmite à distribuidora um sinal pedindo mais um lote. A distribuidora recebe o sinal através de uma luz que se acende no quadro de controle, e procura no seu stock qual o lote que vai enviar em seguida para o posto.

Em cada posto de trabalho podem ser realizadas várias operações diferentes. A operária sabe qual a operação que deve realizar consultando a gama operatória que como já dissemos acompanha o lote e permite controlar o avanço da produção.

Uma vez executada a operação o lote é reenviado para a distribuidora, ficando a aguardar ser enviado para a operação seguinte.

Ao analisar o funcionamento da costura devem ser levados em consideração os seguintes factos:

- O tempo médio de execução de cada operação está estudado e portanto bem definido, sendo o tempo padrão a que nos referimos na gama operatória. Este tempo corresponderia a uma empregada a trabalhar a um ritmo elevado trabalhando em condições de stress. Na prática estes tempos são bastante variáveis por duas razões: Cada empregada tem o seu ritmo próprio de trabalho e este ritmo depende da pressão sobre que ela está a trabalhar. Uma empregada trabalhará mais depressa se estiver a fazer uma operação crítica, isto é se a operação for um estrangulamento na produção, e mais devagar se a operação tiver alguma folga.

Analisando o que cada empregada fez durante 5 dias consecutivos de produção concluímos que em média cada empregada faz por dia 96% (com um desvio padrão de 12%) daquilo que poderia fazer se acreditarmos nos tempos estabelecidos para as operações, descontando já todos os acontecimentos que as poderiam impedir de trabalhar (falta de obra, avaria, ausência do posto, etc). Este número foi retirado dos registos recolhidos para avaliar a performance de cada empregada, estando no entanto provavelmente sobreavaliado, dado que um dos responsáveis pela produção nos indicou um valor da ordem dos 80%.

- As empregadas tem direito a quatro paragens por dia de no máximo dez minutos para irem ao WC. Dado que a duração média de um dia de trabalho é 500 minutos, estes tempos tem algum significado.

- Existem avarias nas máquinas. Diariamente existem em números redondos seis avarias nas três linhas com tempos de concerto ou substituição da máquina da ordem dos dez a quinze minutos.

No nosso ponto de vista o impacto destes três factos sobre a produtividade da costura é pequeno quando comparados com dois factores que consideramos essenciais e que discutimos a seguir. Estes factores são a forma como os layouts das linhas são estabelecidos e revistos, e a forma como a distribuidora escolhe os lotes para enviar para cada máquina.

Layout

O layout (quantidade de postos de cada tipo colocados na linha) das linhas A, B e C é uma das variáveis de decisão com maior impacto no desempenho global da costura. A sua revisão é feita quando é trocado o modelo que está a ser produzido na linha C, sofrendo ajustes pontuais quando mudam os modelos produzidos na linha B. O intervalo de tempo entre estes ajustes é variável, variando entre uma semana e dois meses.

O layout é planeado da seguinte forma:

- Dado o modelo produzido na linha C, é feito o layout desta linha para uma produção média diária de 800 a 1000 pares por dia. Exemplo: se o modelo usa 8 minutos de máquinas PZ para cada lote, e sendo necessário produzir 100 lotes por dia (cada dia de trabalho tem em média 500 minutos) então colocam-se 2 máquinas (100*8/500=1.6). Note-se que normalmente não serão utilizados os 40 postos disponíveis na linha.

- Dado que a produção da linha B é também de 800 a 1000 pares de modelos variados, o modelo da linha C corresponderá a pelo menos 50% da produção da linha A. Assim sendo o layout da linha A é feito para produzir maioritariamente o modelo feito na linha C, sendo depois ajustado pelas as necessidades específicas dos modelos produzidos na linha B e pela experiência de quem faz o planeamento. Exemplo: depois de calculado o layout necessário para o modelo feito na linha C, são acrescentadas mais máquinas do tipo AR e PZ porque historicamente constituem os bottle-necks da pré-costura (este facto foi-nos transmitido pelo responsável pelo planeamento do layout), e são acrescentadas máquinas necessárias para os modelos específicos produzidos na linha B.

Depois de feito o layout, a ocupação desta linha atinge os 37-38 postos de trabalho.

-O layout da linha B é feito com as máquinas e as operárias que sobrarem, levando em consideração a necessidade de utilizar postos flexíveis capazes de realizar várias operações diferentes. Tal como na linha C, a linha B também nunca tem todos os seus postos ocupados.

Este layout, refeito como já dissemos sempre que muda o modelo produzido na linha C, é apenas pontualmente revisto quando entra um modelo com necessidades muito especificas na linha B, ou quando se verificam acumulações de stock superiores a seis ou sete caixas por máquina de um determinado tipo. Neste caso, o encarregado acrescenta mais uma máquina, ou substitui uma das máquinas com menor utilização levando em consideração com as seguintes restrições:

- Não devem ser retiradas máquinas que são únicas na linha, dado que os modelos que necessitassem dela ficariam parados.

- A troca de máquinas tem que levar em consideração a qualificação da operária para trabalhar com o novo tipo de máquina.

- Acrescentar uma máquina pode não ser possível por falta desta, por falta de posto livre na linha ou ainda por indisponibilidade de empregadas qualificadas para a manipular.

Para perceber a complexidade da gestão do layout é necessário levar em consideração com a especificidade de um dos postos mais importantes: O posto MA para operações manuais.

Dos postos colocados em cada linha, os existentes em maior quantidade são do tipo manual (MA). O número normal utilizado na pré-costura é na ordem das seis ou sete. Estes postos correspondem a operações executadas manualmente numa bancada, sendo altamente flexíveis e constituindo normalmente um dos estrangulamento da produção devido à extrema dificuldade em fazer o planeamento correcto de capacidades. Esta dificuldade provém da grande quantidade de operações manuais requeridas por cada modelo, e à variabilidade dos tempos destas operações (muitos modelos utilizam 20 a 30 minutos de operações manuais na pré-costura, mas existem modelos que chegam a utilizar 110 minutos com operações individuais que duram mais de 20 minutos)

Na linha dedicada (linha C) as operações manuais são divididas em subgrupos de operações específicas, sendo o layout destes subgrupos calculado independentemente. Nas linhas A e B, devido ao elevado número de operações manuais diferentes executadas, esta divisão só é pontualmente feita, cabendo à distribuidora o papel de tentar separar as operações pela forma como as distribui a cada operária (normalmente na pré-costura existem um ou dois postos dedicados à operação manual pintar bordos, sendo os restantes partilhados por todas as outras operações).

Estudando planos de layouts, fica-se com a impressão que o número de postos manuais colocados é insuficiente. O que se passa na realidade, é que acabam por existir bastantes mais postos manuais do que os previstos no plano do layout pelas seguintes razões:

- Uma operação manual, não ocupa necessariamente um posto na linha. Isto deve-se ao facto de esta operação poder ser realizada numa mesa abastecida directamente pela ajudante da distribuidora por exemplo. Este é o caso da operação pintar bordos que normalmente ocupa um posto na linha tendo ao lado uma bancada com mais uma operária a fazer esta operação.

- O layout da linha A e B, tem que prever as necessidades específicas de modelos produzidos em pequenas quantidades, sendo às vezes colocada uma máquina durante uma semana para produzir apenas 100 ou 200 pares, estando portanto esta máquina normalmente desocupada. Nestes casos é colocada ao lado da máquina uma bancada onde a operária trabalha em operações manuais enquanto não tiver trabalho para fazer na máquina.

A razão porque aprofundamos o estudo das operações manuais face às restantes operações provem da análise dos resultados de algumas simulações. Utilizando as regras descritas anteriormente simulamos a produção da fábrica durante alguns meses, e verificamos a existência de enormes acumulações de stock nestas operações. A exploração

das razões deste facto através de uma conversa com um dos responsáveis pelo controle das operações permitiu-nos ganhar uma certa sensibilidade para a complexidade do planeamento desta operação em particular, que no fundo é bastante representativa da forma pouco estruturada como é gerido o layout.

Dissemos anteriormente que o layout é uma das variáveis de decisão com maior impacto e vamos agora tentar justificar esse facto.

É evidente que uma layout mal calculado tem implicações sobre o tempo que cada empregada passa parada à espera de trabalho e sobre o stock de lotes à espera das operações com máquinas em falta. Ora a baixa frequência com que o layout é revisto, leva a que estes problemas permaneçam durante longos períodos de tempo, tendo como resultado por um lado a acumulação de stock em algumas operações e a baixa produtividade noutras. Isto leva ao recurso muito comum a horas extraordinárias. De facto, conversando com um dos responsáveis, verificamos que as horas extraordinárias são encaradas como a forma de resolver todos os problemas sendo o recurso a elas um "vício" diário que leva a que todos os dias fiquem cinco ou seis empregadas na zona da costura a trabalhar durante mais uma ou duas horas.

Distribuidora

Quando iniciamos o nosso trabalho estávamos convencidos que a distribuidora tinha uma papel fulcral no avanço da produção, dado que por opção sua um lote poderia ficar várias horas ou mesmo dias parado no stock. Isto levou-nos a tentar analisar o seu trabalho mais cuidadosamente.

A distribuidora manipula três stocks:

- Um stock com quatro ou cinco caixas junto ao tapete a aguardar serem pedidos por uma certa empregada.

- Um stock relativamente grande (na ordem da centena de caixas), atrás dela com os lotes que estão a ser trabalhados.

- Um stock relativamente grande (na ordem da centena de caixas também mas com um tamanho muito variável) de lotes parados por alguma razão. As razões podem ser de diversa ordem incluindo: falta de materiais necessários para a continuação da produção,

estarem à espera de ser lançados em produção ou de ordem da encarregada para avançarem.

A manipulação destes stocks é um trabalho feito de uma forma muito personalizada e com regras difíceis de estruturar. Pensamos no entanto que são seguidas as seguintes linhas gerais:

A encarregada transmite à distribuidora qual o plano para a produção do dia em causa. Este plano faz uma primeira filtragem de quais as OF's que são prioritárias e quais deverão ficar paradas. Uma segunda filtragem é feita pela disponibilidade ou indisponibilidade de todos os materiais necessários para a produção.

A distribuidora tem que decidir dos modelos a ser produzidos qual a sequência de operações que cada um vai seguir, em particular, tem que tomar decisões do tipo: fazer primeiro as operações sobre forros ou sobre peles. Esta decisão leva um plano mental de operações que lhe permite arrumar o stock da forma mais conveniente impondo já uma certa sequência nas operações.

Finalmente são utilizadas regras intuitivas de despacho como por exemplo: fazer avançar rapidamente este modelo simples para dar trabalho aos postos seguintes na linha, ou fazer sempre que possível esta operação complexa para não atrasar demasiado este modelo.

Estas regras obedecem no entanto a restrições difíceis de quantificar, como a tentativa de colocar cada operária a fazer sempre as operações para as quais é mais qualificada, ou a impossibilidade desta operação manual ser realizada em qualquer dos postos MA devido à falta de qualificação de algumas empregadas ou ainda a incapacidade da distribuidora organizar suficientemente bem o stock de forma a que saiba sempre onde estão os lotes à espera de uma dada operação.

No nosso ponto de vista, o trabalho da distribuidora poderia ser simplificado se ela tivesse mais informação sobre o que na realidade tem em stock e se lhe fossem transmitidos, por parte da encarregada, objectivos bem definidos e possíveis de serem alcançados. De facto o problema da visibilidade sobre o stock é relativamente grave, dado que se a distribuidora consegue saber onde estão os lotes de cada modelo, já lhe é extremamente difícil distinguir entre OF's. Isto leva à impossibilidade de atribuir níveis de prioridade às OF's ou mesmo à impossibilidade de utilizar regras simples do tipo FIFO, com as consequentes implicações ao nível da variabilidade dos tempos que um lote passa na zona da costura na fábrica.

Convém também fazer um comentário à forma como a distribuidora organiza o stock. De facto, as caixas à espera de uma certa operação são empilhadas umas sobres as

outras e retiradas portanto segundo uma regra LIFO (apartir do topo portanto), alterada pelo facto de a ajudante periodicamente passar as caixas do fundo da pilha para o topo. Pensamos que esta organização é altamente prejudicial para o avanço regular dos lotes, levando a que uns progridam bastante mais depressa que os outros.

Apesar da forma pouco estruturada como a distribuidora trabalha, estamos agora convencidos que o seu papel é muito facilitado se o layout estiver relativamente bem feito. Neste caso existem poucos lotes (quatro ou cinco) à espera de cada operação estando portanto a decisão bastante facilitada. Ora, como quando se verificam grandes acumulações de stock, é utilizado o recurso a horas extraordinárias diminuindo assim o nível de stock, pensamos que será mais importante uma actuação ao nível de um correcto balanceamento diário do layout e a sua integração com o planeamento diário da produção, do que uma tentativa de resolver apenas o problema da distribuição, dado que a resolução do primeiro tem implicações muito maiores e facilitará bastante a resolução do segundo.

c) Montagem.

A montagem é uma zona relativamente simples que não foi objecto de estudo pela nossa parte. Podemos apenas dizer que é constituída por três linhas independentes em que os sapatos sofrem sequencialmente uma série de operações em que a sua forma é moldada. Uma destas linhas é normalmente dedicada à montagem de gáspeas subcontratadas, podendo eventualmente fazer a montagem das gáspeas da linha C.

Aparentemente o único grau de complexidade na montagem é introduzido pelo facto de existirem quebras de produção quando há trocas de modelos numa linha o que aumenta a dificuldade de fazer o planeamento desta zona.

2.4. BREVE REFERÊNCIA AO PLANEAMENTO DAS OPERAÇÕES

A análise do planeamento de operações saia já um pouco fora do âmbito do nosso trabalho. No entanto, o contacto que tivemos com a fábrica permitiu-nos recolher alguns dados interessantes.

O resultado visível da actividade de planeamento diário de operações são uns papeis entregues diariamente aos encarregados de cada zona, contendo as quantidades a produzir nesse dia de cada OF. Estes papeis são designados por planos diários de produção (PDP). No fim do dia, estes papéis são utilizados pelos encarregados para registar aquilo que foi efectivamente produzido.

Existem PDP's para três zonas na fábrica: Entrada do corte, saída do corte e montagem. É de notar a não existência de PDP para a costura. Isto é apenas uma prova da incapacidade existente para planear esta zona. Na prática o que acontece é que o PDP da saída do corte é utilizado pela pré-costura, e o PDP da costura é transmitido sobre a forma de instruções verbais às encarregadas.

Existem também registos diários do controlo de qualidade à saída do corte, à saída da costura e à saída da montagem, contendo o que acabou de ser produzido nesse dia, discriminado por OF.

Uma análise à posteriori dos planos diários de produção (contendo portanto o registo do que estava planeado e do que foi realmente feito), permite chegar rapidamente à conclusão que existe uma grande falta de sincronismo entre o que é planeado e o que é executado. Aliás, isto foi reconhecido por um dos responsáveis pela produção ao afirmar que o planeamento é sempre feito por excesso para que os empregados tenham sempre que fazer. Na realidade os PDP's em cada dia são revistos de acordo com o que foi feito no dia anterior, encobrindo assim grandes desajustes entre o plano inicial e o executado. Quase nos arriscaríamos a dizer que, na zona do corte por exemplo, o PDP não faz mais do que estabelecer a ordem porque as OF's entram em produção, dado que o facto de o planeamento ser feito por excesso torna o PDP uma ferramenta inútil na definição de objectivos e controle da produção.

Não vamos aqui abordar a forma como este planeamento é feito, deixando apenas as ideias gerais que o regem.

O ponto fulcral do planeamento é a montagem. Numa tentativa de servir o melhor possível os clientes mais importantes, é definido em que dias é que as OF's correspondentes às suas encomendas serão montadas. O tempo de montagem que sobrar é distribuído pelas OF's das encomendas menos importantes. Isto justifica aliás a diferença de tempo passado em stock na montagem dos sapatos da linha B e da linha C.

Feito o planeamento da montagem, o planeamento do corte é feito lançando as OF's suficientemente cedo em produção para que saiam da costura a tempo, dando evidentemente uma certa folga para os imprevistos que sempre acontecem. Caso se justifique é revisto o layout da costura para se acomodar aos modelos que serão produzidos nessa altura pelo processo que já descrevemos.

Dado que a montagem é a operação mais importante na produção de um sapato, tanto pelo tipo de máquinas utilizado, como pelo valor acrescentado da operação, justifica-se que o planeamento comece por esta fase, ainda mais dado que é necessário coordenar as gáspeas produzidas na fábrica e com as subcontratadas. Mas este planeamento deveria levar em consideração a capacidade dos estágios anteriores (corte e costura) cumprirem também com o plano. O facto de esta não ser levada em consideração

leva a acumulações desnecessárias de stock à entrada da montagem devido à folga com que as OF's são lançadas em produção.

Uma vez mais, verifica-se a importância que um planeamento correcto de capacidades na costura teria, ao evitar o recurso a horas extraordinárias com o correspondente desvio ao plano que tem como implicação a necessidade de usar uma folga exagerada no planeamento.

2.5. CONCLUSÕES.

O trabalho de análise do processo produtivo da Growela centrou-se largamente na costura porque esta zona coloca dificuldades de planeamento com repercussões ao nível de toda a fábrica.

Os principais problemas identificados foram:

- Falta de visibilidade sobre o processo produtivo. Isto é, incapacidade de quem gere de avaliar o que se está a passar realmente na fábrica.

- Dificuldade no planeamento de capacidades.

- Falta de rigor na execução do planeamento de lançamentos em produção.

Note-se que estes problemas realimentam-se mutuamente sendo portanto de resolução muito difícil. Os erros no planeamento de capacidade levam a uma exagerada acumulação de stock tendo como consequência a diminuição da visibilidade sobre o processo, e a incapacidade de cumprir com os planos de produção. O facto dos planos de produção não serem cumpridos limita muito a eficiência de um planeamento de capacidades mais rigoroso. A falta de visibilidade sobre o processo impede a aplicação rápida e eficiente de medidas de correcção tanto sobre o layout utilizado como sobre os planos diários de produção.

Esta espiral de relações causa-efeito só pode ser quebrada actuando ao nível da simplificação do sistema produtivo. Esta simplificação poderia passar em primeiro lugar por uma actuação ao nível da divisão entre pré-costura e costura que passamos a discutir.

Tal como já referimos aquando da análise dos dados da produção, é à partida estranho que produzindo a linha C só um modelo, os tempos que os sapatos demoram a produzir desde que entram na pré costura até que saem da linha B ou C sejam idênticos. A razão para este facto torna-se evidente ao analisar resultados da simulação:

A maior parte do tempo é passado na pré-costura, que é partilhada pelas duas linhas, perdendo-se assim a vantagem de um planeamento mais rigoroso da linha C.

Algumas pistas apontam para a pré-costura (linha A) ser uma das responsáveis pelo mau funcionamento da fábrica:

- Na linha A produzem-se o dobro dos sapatos por dia face às linhas B e C (dado que a linha A alimenta a B e a C).

- Normalmente as horas extraordinárias são utilizadas na linha A.

- O planeamento de capacidades da linha A é de dificuldade superior às restantes devido à restrição do número de postos e à complexidade das operações manuais aí executadas.

A constatação destes problemas levam a colocar a questão de porquê ser então feita a divisão entre pré-costura e costura ?.

A resposta a esta pergunta baseia-se no facto de como as operações de pré-costura são em grande parte comuns a vários modelos, a utilização de apenas uma linha de pré-costura levar possivelmente a economias de escala.

Na realidade estas economias de escala perdem-se pelo facto de alguns modelos feitos em pequenas quantidades exigirem máquinas específicas que ficam a ocupar espaço na linha, e pelo facto das diferenças no tempo necessário para fazer operações do mesmo tipo em modelos diferentes serem muito grandes. Estas duas razões levam a que a pré-costura seja de planeamento muito difícil perdendo-se assim a vantagem da economia de escala.

A solução apontada pelo bom senso seria "dividir o mal pelas aldeias". Isto é, fazer planos independentes para cada uma das três linhas, juntando em cada linha a sua própria pré-costura e a costura. A implementação desta solução não seria por certo impossibilitada pela inexistência de postos suficientes nas linhas, dado que neste momento uma boa percentagem dos postos na linha B e C ficam vazios.

A discussão feita anteriormente sobre o planeamento do layout pode deixar a impressão que um sistema dinâmico automático de ajuste de layout sempre que entra um novo modelo em produção seria a solução para o problema do planeamento de capacidades.

Um sistema desta natureza seria talvez a solução, mas o seu sucesso estaria fortemente dependente da resolução de um problema grave que afecta a costura e que é a falta de visibilidade sobre o processo.

Na realidade o número de lotes que circula na fábrica (várias centenas normalmente) leva a que seja muito difícil ter uma noção do número de lotes exactos que estão à espera de cada operação. A incapacidade de avaliar este número (que nos foi abertamente confessada por várias pessoas) impede a implementação de um controle reactivo do layout. Isto é, não se sabe onde é que está realmente o stock, como corrigir eventuais desvios no layout ?

No nosso ponto de vista um controlo reactivo efectivo teria implicações mais profundas sobre o desempenho do sistema do que um planeamento à priori, e um sistema automático de controle do layout teria evidentemente que acentar sobre um sistema, automático ou não, de recolha de dados sobre o estado da produção em curso,que por aquilo que nos apercebemos obrigaria a alterações significativas na forma como a costura funciona.

Antes de concluir esta secção não queríamos deixar de fazer uma refêrencia a uma questão que, bem explorada, poderia permitir aprofundar bastante o conhecimento sobre a costura.

Referimos já anteriormente que a acompanhar cada lote circula uma gama operatória contendo uma série de etiquetas, uma por cada operação a efectuar. Ora os operários depois de realizar cada operação retiram estas etiquetas e colam-as numa folha de papel que no fim do dia contém etiquetas correspondentes a todas as operações que cada um executou, organizadas pela ordem em que estas operações foram executadas. Estes dados são posteriormente introduzidos no sistema informático para que seja feito o controle da produtividade de cada operário. Juntamente com estes dados são também introduzidas referências ao tempo que o operário esteve parado por falta de obra ou por outro qualquer acontecimento a ele estranho.

A análise cuidadosa desta informação permitiria tirar muitas conclusões, e seria por certo um instrumento importante de análise da produção da fábrica. De facto, apesar de não estar registada a hora a que foi feita cada operação, a folha de cada empregado contém a sequência de operações feitas. Uma análise desta informação permitiria saber, por exemplo, qual o impacto das regras de distribuição no desempenho da costura, qual o impacto deste ou daquele layout sobre a utilização das máquinas, etc.

Como toda esta informação já é neste momento recolhida (como tivemos oportunidade de verificar ao trabalhar sobre o sistema informático da fábrica), não seria demasiado difícil construir um programa que trabalhasse sobre a base de dados e resumisse a informação, produzindo gráficos e estatísticas que seriam um auxiliar importante para o planeamento, como aliás verificamos ao mostrar os gráficos que fizemos com dados recolhidos dos PDP's a um dos responsáveis máximos na fábrica.

3. O modelo de simulação.

Nota introdutória:

Esta secção não reflete ainda a versão definitiva do modelo de simulação que será apresentada como resultado do projecto de fim de curso, pela simples razão que foi escrito em paralelo com alterações que foram feitas ao sistema e que não houve tempo de aqui descrever. Por outro lado, não estando ainda pronto o Manual do Utilizador, haverá porventura alguma informação que será acrescentada ou retirada na versão final, razão pela qual não é apresentada aqui uma listagem do programa.

As alterações que venham a ser feitas posteriormente, não deverão no entanto trazer mudanças radicais ao que aqui está dito, sendo antes constituídas maioritariamente pelo aprofundamento de um ou outro ponto e acrescentos de novas características ao modelo.

3.1. INTRODUÇÃO

Esta secção tem como objectivo apresentar a estrutura e o funcionamento do modelo de simulação da pré-costura e costura da GROWELA. A sua função é expor de uma forma geral as ideias princípios e objectivos que seguimos na construção do modelo, bem como facilitar a compreensão do programa e a sua expansão futura.

Em apêndice discutimos algumas das opções críticas tomadas durante o desenvolvimento do programa. Algumas das questões referidas tem um impacto grande no desempenho do modelo e devem portanto ser analisadas cuidadosamente.

Esta secção está organizada da seguinte forma:

No **ponto 3.2** apresentamos as grandes linhas que guiaram a construção do modelo.

No **ponto 3.3** apresentamos um resumo da forma como funciona a fábrica. Apresentamos também a estrutura geral do modelo, e o tipo de manipulações que este permite.

No **ponto 3.4** é feita uma explicação das principais estruturas de dados usadas, bem como as ideias que lhes estão subjacentes.

No **ponto 3.5** descrevemos brevemente a função dos principais módulos, acompanhada de uma explicação do seu funcionamento.

No **ponto 3.6** fazemos alguns comentários finais ao modelo apresentado.

No **apêndice A** indicamos uma possibilidade para modelizar comportamentos complexos da distribuidora. Aconselhamos vivamente a leitura deste apêndice dado que as ideias nele apresentadas são poderosas e demonstram bem a flexibilidade do modelo.

No **apêndice B** discutimos quais as razões para as opções que tomamos no processo que manipula o layout. Tentamos também justificar estas opções com o conhecimento que adquirimos do funcionamento da fábrica.

No **apêndice C** discutimos uma opção tomada sobre a modelização das máquinas que tem implicações relativamente importantes no desempenho do modelo.

No **apêndice D** discutimos as opções tomadas nas rotinas que lêem e gravam o estado inicial.

No **apêndice E** justificamos a razão para as medidas de performance recolhidas.

3.2. GÉNESE DO MODELO.

a) Justificação para o seu desenvolvimento.

A utilização de um modelo de simulação da pré-costura e costura da fábrica justifica-se na influência negativa que esta zona tem no desempenho global do processo produtivo, pela dificuldade que oferece no planeamento e controlo de operações. Por outro lado, o funcionamento desta zona da fábrica tem características peculiares (quantidade muito grande de lotes com tempos de processamento curtos, capacidades variáveis, falta de informação para o planeamento), que impedem a aplicação de uma análise com características mais analíticas.

A partir de certa fase, tornou-se evidente que a construção do modelo se justificaria, quanto mais não fosse, pela sistematização e disciplina que impõem no processo de compreensão da fábrica por um lado, e no efeito catalisador que tem na discussão das razões para o seu funcionamento. A prova desta afirmação, é o facto de a simples construção do modelo e análise de algumas simulações, ter permitido que nos apercebessemos de problemas existentes na fábrica, que são porventura bem mais importantes do que aqueles que pretendíamos estudar inicialmente com o modelo.

Pode de facto ser argumentado que um modelo de simulação é demasiado trabalhoso para ser construído sem um objectivo específico, que é uma ferramenta de decisão e como tal deve ter o seu campo de actuação perfeitamente definido. No entanto, no nosso caso específico, o objectivo era principalmente descobrir as razões porque a fábrica funciona "mal", tendo este sistema ajudado-nos realmente a identificar pontos de actuação que de outra forma só intuitivamente seriam justificáveis.

b) Preocupações centrais na sua construção.

A construção do modelo foi feito de uma forma iterativa, tentando englobar o conhecimento que fomos obtendo sobre o funcionamento da fábrica nas visitas que lá fizemos, e o feed-back dos "run´s" de simulação que fomos fazendo. Algumas das suas características demonstraram-se necessárias apenas depois de comparado o desempenho do modelo com o conhecimento que temos do funcionamento da fábrica, e da análise de dados reais de produção que levamos a cabo. Um bom exemplo disto é o facto de só nos termos apercebido da importância real da utilização de horas extraordinárias, quanto tentamos justificar as razões para o acumular de stock em algumas máquinas. Este facto levou-nos inclusive a uma conversa com um dos responsáveis pela produção, que nos alertou para a importância de várias questões que tínhamos desprezado anteriormente.

Foi uma preocupação central durante todo o nosso trabalho estruturarmos o programa de forma a ser possível a sua fácil compreensão e utilização por outras pessoas que não os seus autores. Pedimos desde já desculpa se algumas partes do programa estiverem pior documentadas, mas o facto de o modelo ser construído à medida que vai sendo utilizado, torna a sua estruturação uma tarefa redobradamente difícil. Pensamos no entanto, que o nível de estruturação que a linguagem escolhida permite (SIMSCRIPT) torna relativamente fácil a outras pessoas continuarem ou modificarem o modelo de acordo com as suas necessidades ou ideias.

Ainda outro objectivo (talvez o mais importante) com que nos preocupamos foi tornar o modelo extremamente flexível, permitindo não só a experimentação de pequenas alterações mas também a possibilidade de experimentar alterações revolucionárias no processo produtivo. Pensamos que este objectivo foi cumprido com bastante sucesso, permitindo não só a simulação de uma fábrica de sapatos, mas também a simulação de qualquer processo produtivo que tenha algumas semelhanças com o estudado. Em particular, este modelo permite testar alterações radicais no funcionamento da fábrica, como alterações no número de linhas, no layout, nas regras de distribuição e até em última análise a simulação de um funcionamento do tipo células de fabrico.

Apesar desta evidente preocupação com a flexibilidade, uma das regras que seguimos à risca foi evitar fazer aproximações mais grosseiras à GROWELA apenas com o objectivo de aumentar a dita flexibilidade.

Todas as opções tomadas na modelização, foram-no com base ou em dados da própria fábrica, (layouts, gamas operatórias, modelos,...), ou na impossibilidade de recolha destes (dados sobre avarias, técnicas de distribuição e parâmetros de alteração de layout por exemplo) foram-no com grandes preocupações de facilitar posteriormente com alterações mínimas a introdução de dados reais. Tomamos o cuidado de evitar ao máximo introduzir no modelo parâmetros de difícil compreensão ou medição. Todos os dados sobre organização das linhas de produção, layouts, gamas operatórias e programas diários de produção são usados no modelo num formato fácil de produzir por uma folha de cálculo ou base de dados (aliás, parte dos dados foram retirados de ficheiros fornecidos pela própria empresa).

c) Tipo de modelo escolhido.

A opção por um funcionamento do tipo batch para o programa (são definidos todos os parâmetros através de menus e de ficheiros de entrada, o modelo corre e os resultados são colocados em ficheiros) pode à primeira vista parecer rudimentar numa altura em que se sabe ser um dos interesses da simulação a visualização global que permite dar do processo em estudo. No entanto esta justifica-se por duas razões:

A primeira é infelizmente uma restrição de capacidade computacional dos PC's. A utilização de gráficos tornaria o programa demasiado lento (sem a utilização de gráficos, um "run" de 60 dias pode demorar num 486 a 33Mhz algumas horas) devido à memória que ocupa.

A segunda provém da natureza do processo simulado. De facto, existem demasiadas máquinas e demasiados lotes no sistema para que seja possível transmitir informação de uma forma gráfica. Por outro lado, o tempo que uma simulação demora a correr inviabilizaria uma análise visual do processo.

A solução adoptada, de recolha de dados num ficheiro (ver Apêndice E), tem várias vantagens, dado que permite analisar dia a dia o que foi acontecendo, transmitindo apenas valores agregados fáceis de manipular. Estes dados podem também ser importados para uma folha de cálculo para um estudo mais aprofundado.

3.3. ESTRUTURA DO MODELO.

a) Funcionamento da fábrica.

Nos parágrafos seguintes vamos resumir rapidamente o conhecimento que adquirimos sobre a costura, e como este está representado da simulação. Este resumo será completado com um relatório contendo todo o conhecimento que adquirimos da fábrica.

Na costura existem três linhas de produção (A, B e C), cada uma com quarenta postos de trabalho, que são ocupados com máquinas variadas. Estas linhas de produção dividem-se por duas fases: pré-costura e costura e são partilhadas por duas "linhas de planeamento" (B e C)que atravessam a fábrica desde o corte até à montagem.

Estas duas linhas de planeamento tem planos diários de produção independentes, sendo uma usada para fazer modelos diversos (a linha B com três, quatro ou cinco modelos em cada dia) e a outra (C) trabalha sempre e exclusivamente num modelo de cada vez. Na pré-costura estas linhas de planeamento partilham uma linha de produção (A) , que portanto produz diariamente uma grande quantidade de um modelo e quantidades pequenas de outros modelos. Na costura, estas linhas de planeamento utilizam as linhas de produção que lhes são homónimas.

O layout das linhas de produção é definido com uma frequência de duas ou três semanas sendo no entanto ligeiramente alterado sempre que uma máquina se torna num bottle-neck importante. Acumulações graves de stock implicam ou uma revisão de layout ou como é infelizmente normal a utilização de horas extraordinárias para resolver o problema.

Entre todas as operações feitas na linha, existe uma que merece uma atenção especial: As operações manuais identificadas nas gamas operatórias por MA. Estas operações são muito variadas, sendo portanto dividas em subgrupos de operações (pintar bordos, colar fita, etc). Normalmente uma empregada deveria trabalhar apenas num destes grupos. Na realidade isto acontece na linha C dado tratar-se de uma linha dedicada, mas na linha A e B a complexidade das operações torna difícil uma percepção exacta do que se está a fazer em cada posto. Estas operações tem também outra característica: Quando uma máquina está a ser pouco utilizada, é colocado ao seu lado uma mesa de trabalhos manuais que a operária usa para fazer operações manuais quando tem tempo livre.

Cada linha de produção tem uma distribuidora cuja função é distribuir os lotes (cada lote é uma caixa com normalmente dez pares de sapatos) pelas máquinas. Junto a cada máquina existe um stock de dois ou três lotes que é servido pela operária num regime FIFO. A distribuidora tem atrás de si um stock de lotes com que alimenta as filas das máquinas. A organização desse stock de lotes é complexa e temos apenas noções muito

básicas de como é feita. Aparentemente o stock está dividido em duas partes, uma mais recuada, constituída por um conjunto de lotes que estão por alguma razão parados, outra pelos lotes que estão a aguardar ser distribuídos. Em números largos, é aceitável um stock total atrás da distribuidora da ordem dos 200 lotes, mais uns 100 lotes a ser trabalhados ou nas filas das máquinas.

As regras usadas pela distribuidora serão objectivo de discussão alargada noutro documento, no entanto pode-se dizer que existem dois tipos de regras: regras de manipulação de modelos e de despacho de lotes. As primeiras dizem respeito a alterações na gama operatória (fazer primeiros operações com peles ou com forros), prioridades de modelos ou de ordens de fabrico (OF´s). As segundas são regras de despacho dos lotes típicas, que dependem muito da pessoa que as executa e das condições particulares em que é tomada a decisão, podendo variar entre FIFO, prioridade a um ou outro modelo, aleatória ou shortest-processing-time.

A gama operatória a que nos referimos no parágrafo anterior, é uma folha de papel contendo todas as operações que devem ser executadas sobre um modelo, junto com os tempos previstos para essas operações e a máquina onde elas devem ser feitas. Teoricamente as operações são feitas pela ordem em que estão no papel, mas ao conversar com um dos responsáveis pelo planeamento, concluímos que a ordem é mais ou menos seguida na costura, mas na pré-costura é bastante variável, dependendo o grau de variação do tipo de modelo e da experiência da distribuidora.

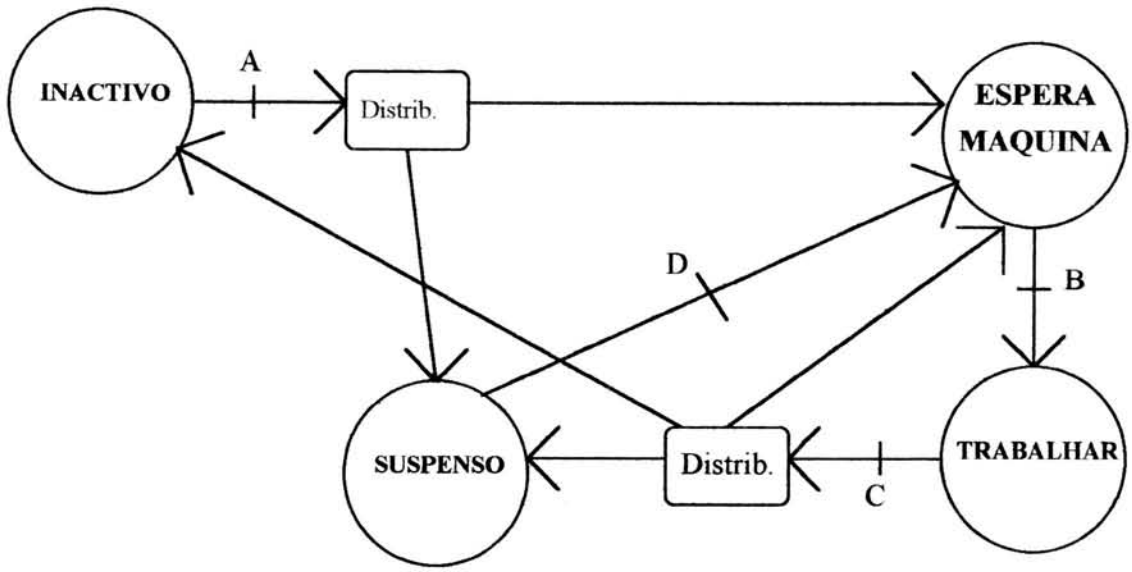
Esta explicação sumária do funcionamento da fábrica, deve em princípio ser suficiente para entender o modelo de simulação. Alguns destes conceitos serão relembrados e explorados ao longo do texto e em particular nos apêndices.

b) O modelo de simulação visto em linhas gerais.

O processo central da simulação é o processo LOT. Este processo representa as caixas com sapatos que circulam na fábrica (lotes).

Este processo pode estar em três estados, sendo a sua passagem entre estados controlada por uma rotina DISTRIBUIDORA simulando o papel das distribuidoras na fábrica.

O diagrama de estados do processo LOT é apresentado na página seguinte.



A- Activação do lote pelo processo LANÇA_WLINE ou LE_ESTADO_INICIAL.

B- Máquina disponível

C- fim do trabalho.

D- Reactivação do lote pela distribuidora.

Fig 1- Diagrama de estados do processo LOT

Como se pode verificar, o LOT é activado ou pelo processo LANÇA_WLINE responsável pelo lançamento dos PDP's, ou pelo processo LE_ESTADO_INICIAL, que define qual estado inicial da simulação. Uma vez activo, o LOT chama a rotina DISTRIBUIDORA, que define se ele deve ir imediatamente para uma máquina, ficando assim na sua fila de espera, ou se deve ficar suspenso no stock.

No primeiro caso, o LOT pede a máquina e espera a resposta, usa-a, e libertando-a chama de novo a DISTRIBUIDORA, que mais uma vez define se ele deve seguir para a máquina seguinte, ficar suspenso ou se já está pronto. A DISTRIBUIDORA depois de definir o que o LOT vai fazer, escolhe outro LOT para ocupar a máquina que ficou vazia de entre os que estão suspensos, reactivando-o.

Este modelo permite uma grande liberdade de modelização da distribuidora, dado que ela controla que lote escolher, qual a máquina para onde ele vai, etc. Permite inclusive

modelizar estratégias complexas de distribuição levando em consideração decisões sobre, por exemplo, fazer primeiro as operações sobre forros ou sobre peles, ou alterações à sequência de operações com o objectivo de aumentar a taxa instantânea de utilização de alguma máquina.

Além do apresentado são ainda levadas em consideração outras características do processo produtivo que consideramos importantes:

- Cada operação em cada modelo é definida pelo seu código independentemente da máquina onde é feita. Isto permite modelizar o facto de uma operação poder ser feita em várias máquinas (este facto è como já dissemos muito importante para implementar estratégias de distribuição próximas das usadas na fábrica).

- O tempo de execução de uma operação é variável e depende da eficiência da empregada que está a manipular a máquina.

- As máquinas avariam ou a empregada pode-se ausentar temporariamente do posto de trabalho.

- Existem revisões ao layout quando entram novos modelos, e quando há grande acumulação de stock numa máquina ou uma acumulação muito rápida.

- Quando o stock em algumas máquinas assim o justifica, são postas algumas empregadas a trabalhar em horas extraordinárias nessas máquinas.

c) Possibilidades de manipulação do modelo.

Tal como já dissemos, a flexibilidade foi uma das preocupações centrais, reflectindo-se na possibilidade que é dada ao utilizador de experimentar configurações do processo produtivo alternativas. Para isto, o utilizador não tem mais do que editar os ficheiros com os dados sobre o processo (o programa tem um conjunto de rotinas que se encarregam de ler esses ficheiros e de inicializar o sistema.: ver manual do utilizador).

Vejamos então quais as possibilidades oferecidas:

- Possibilidade de alterar ou definir o número de máquinas existentes de cada tipo.

- Possibilidade de alterar ou definir os conjuntos de modelos, bem como as respectivas gamas operatórias, que irão ser processados.

- Possibilidade de alterar ou definir as ordens de fabrico.

- Possibilidade de alterar ou definir as máquinas em que cada operação pode ser feitas (Note-se que esta alteração é independente do layout da fábricas).

- Possibilidade de alterar ou de definir a "quantidade" de linhas de produção. Esta possibilidade permite por exemplo testar configurações das linhas totalmente diferentes como o caso de passarmos a ter 3 linhas distintas, em que em cada uma delas se executam não só a respectiva costura, mas também a pré_costura (eliminação da linha dedicada apenas à pré-costura.)

- Possibilidade de alterar ou de definir as ordens de fabrico que irão ser lançadas em cada dia, bem como as respectivas quantidades, e ainda mudanças diárias de layout (devidas por exemplo ao início de produção de determinado modelo que necessita de uma máquina especial ou que irá criar um estrangulamento em alguma máquina)

- Possibilidade de alterar todos os parâmetros da simulação, inclusive a estratégia seguida pela distribuidora.

Para uma referência completa às possibilidades de manipulação do modelo, aconselha-se uma leitura ao manual de utilização.

3.4. PRINCIPAIS ESTRUTURAS DE DADOS

Em seguida são apresentadas (pela ordem em que vêm referidas no preâmbulo) as estruturas de dados utilizadas.

Nota: Tanto este ponto como os seguintes contem considerações relativamente técnicas, sendo destinados ao leitor que pretenda compreender o funcionamento interno do programa.

Cada um dos postos de trabalho é modelizado como um recurso MACHINE, ou seja a entidade MACHINE representa conforme os casos, o par homem máquina, ou apenas o homem (no caso de operações manuais) . Assim esta contém um conjunto de

atributos que a definem, como o seu nome,um índice da linha em que está colocada,a sua eficiência média, um campo destinado à ajuda de recolha de informação que contém o número de lotes que estão à espera de a utilizar, e ainda o número de máquinas do seu tipo colocadas na linha. Cada MACHINE pertence a um conjunto contendo todas as máquinas da mesma linha. Note-se que a entidade MACHINE modeliza todas as máquinas iguais a ela existentes na linha (ver apêndice C para a explicação das implicações deste facto).

Cada entidade MACHINE detém um conjunto contendo as máquinas que estão colocadas no mesmo posto, partilhando a operária. Isto permite modelizar o facto de as operárias que executam operações pouco utilizadas terem uma bancada onde vão executando operações manuais.

Temos também um conjunto de entidades permanentes que passaremos a descrever.

Cada entidade MODEL representa a entidade física modelo, tendo por isso um atributo que define o nome, bem como um campo detendo o número de operações feitas sobre o modelo e ainda detém um set (conjunto) das linhas de costura onde o modelo será produzido.

Uma entidade relacionada com a descrita acima é a entidade composta MODEL,OPERATION que não é mais do que uma matriz bidimensional, em que cada linha é constituída pela gama operatória de determinado modelo. A razão de termos optado por esta solução em relação à utilização de um set, tem a ver com o aumento de rapidez de acesso e manipulação de dados, bem como uma economia de memória ocupada. (Inicialmente tínhamos para cada entidade MODEL um set que continha a sua gama operatória, mas o seu uso piorava o programa em termos de rapidez e ocupação de memória)

Cada uma destas entidades detém ainda um set que representa para cada operação de determinado modelo, o conjunto de máquinas onde esta pode ser feita.

Existem ainda várias entidades permanentes que facilitam e flexibilizam a definição das linhas de produção. São as entidades:

-WLINE representando as linhas de planeamento.

-FASE representando as fase na produção que um sapato atravessa. Neste momento existem duas: pré-costura ou costura.

-Entidade composta WLINE.FASE ou seja a cada WLINE correspondem duas fases. Esta entidade contem um campo indicando em que linha de produção é feita.

-PLINE que representa a linha de produção.

Como nota podemos dizer que se quisermos modelizar o caso de eliminarmos a fase de pré costura, ou seja criarmos 3 linhas independentes bastaria atribuir a cada WLINE,FASE uma das linhas produção, e considerar 3 WLINE's (consultar Manual).

Uma outra entidade de interesse é a OF que representa o conceito de ordem de fabrico no sistema de produção. Uma ordem de fabrico caracteriza-se por ser constituída por sapatos todos do mesmo modelo e ser produzida numa dada WLINE.

Outra das entidades mais importantes do sistema é a entidades PROGD. Esta representa um dia de produção, sendo utilizada conjuntamente com outras entidades, em entidades compostas:

-PROGD,WLINE detendo um set que é interpretado como o conjunto de ordens de fabrico e as respectivas quantidades a serem lançadas em produção em cada dia e cada linha de produção.

-PROGD,PLINE que detém um set com o conjunto de alterações ao layout para o dia em causa. A sua interpretação é a de a cada dia e a cada linha física de produção corresponde uma (possível) alteração de layout devido à entrada de novos modelos.

-PROGD,WLINE,FASE é uma estrutura de recolha de informação, guardando o que vai acontecendo em cada dia, cada linha de produção e cada fase.

Existem também um conjunto de entidades temporárias de que se destinam a pertencer aos respectivos conjuntos detidos pelas entidades permanentes. Dada a sua fácil percepção não as referiremos aqui.

3.5. PRINCIPAIS MÓDULOS DA SIMULAÇÃO

a) Inicialização do sistema

Vamos agora explicar sucintamente o funcionamento dos principais módulos da simulação. A sua apresentação será orientada seguindo o módulo MAIN, e dividida em subtemas.

A primeira parte da função MAIN corresponde à definição dos parâmetros da simulação. Esta definição é feita através da chamada à rotina MENU, onde a interface com o utilizador é realizada através de um conjunto de menus. Dado que a manipulação dos menus é totalmente explicada no Manual de Utilização, não vamos aqui apresentar o seu funcionamento.

Após a definição dos parâmetros, o módulo MAIN chama um conjunto de rotinas que farão a inicialização do modelo de simulação através da leitura dum conjunto de ficheiros editados pelo utilizador, contendo as características do sistema de produção a simular (a alteração destes ficheiros permite modificar totalmente a estrutura da fábrica).

Vejamos então as rotinas de Inicialização.

INITIALISE.LAYOUT

Esta rotina faz primeiro a criação do conjunto de linhas de produção (PLINE) existentes. Seguidamente, e para cada uma das linhas criadas, faz a leitura dos recursos MACHINE disponíveis. No fundo corresponde a inicializar por linha física de produção as máquinas existentes.A rotina procede assim a criação e inicialização (por linha) de todos os tipos de máquinas, bem como das respectivas quantidades. Note-se que o que é incivilizado não é o layout da linha mas sim o número de máquinas total existentes de cada tipo (ver Apêndice B). A inicialização é feita através do preenchimento dos atributos de cada tipo de máquina.

Executam-se também duas operações adicionais além do preenchimento dos atributos das máquinas:

-Um teste de consistência consistindo na verificação da existência da linha de produção onde a máquina vai ser instalada. No caso de os dados de entrada violarem esta regra uma mensagem de erro aparecerá e a rotina MANIPULA_ERRO é chamada provocando o término da simulação.

-A inserção da entidade MACHINE no set da respectiva linha de produção PLINE.

No fim desta rotina teremos então cada linha de produção será detentora de um set de máquinas perfeitamente definidas.

INITIALISE.WLINE

Nesta rotina criam-se as linhas de planeamento WLINE, as fases de produção FASE bem como a afectação da entidade composta WLINE,FASE à respectiva linha de produção (PLINE).

INITIALISE.MODEL

Esta rotina pode ser encarada como a definição dos modelos de sapatos que a fábrica produz, bem como as respectivas gamas operatórias.

Como nota apenas convém referir que a cada operação de determinado modelo está associado um índice da fase de produção que corresponde. Este índice tem como objectivo último permitir que um lote saiba quando mudou de fase, de forma a que sejam recolhidas estatísticas por fase.

INITIALISE.OF

Nesta rotina são criadas e incivilizadas as entidades OF que modelizam o conceito da ordem de fabrico. Aqui é outro ponto em que o conceito das WLINE é fundamental, pois a cada ordem de fabrico está associada uma determinada linha de planeamento.

Os atributos preenchidos para cada OF são:

- O nome da ordem de fabrico

- A quantidade de lotes que constituem essa ordem de fabrico, quantidade essa que é calculada a partir do número de sapatos por lote (TAMANHO_LOTE).

- O índice do modelo a que essa ordem de fabrico se refere.

- O índice da linha de costura (WLINE) onde essa ordem de fabrico será processada.

Falta-nos referir que nesta rotina se fazem também testes de consistência aos dados de entrada. Este teste verifica se alinha de costura onde a ordem de fabrico será processada, e o modelo a que se refere estão definidos. Caso contrário as mensagem de erro :

ERRO LINHA B NÃO EXISTENTE

ou

ERRO DE INCONSISTÊNCIA (MODELO 223D8 NAO DEFINIDO)

aparecerão para nos casos respectivos.

Um outro aspecto que vale a pena referir diz respeito à fase final desta rotina; nesta parte faz-se a criação das ordens de fabrico que permitirão definir um estado inicial não vazio.

A estas ordens de fabrico chamamos "E" (de especiais) ,devido ao facto de não nos interessar recolher estatísticas, sendo a sua função apenas de possibilitar inicializarmos a simulação com o sistema não vazio. A inicialização a nível das quantidades de lotes que cada uma destas OF tem, é feita numa outra rotina que abordaremos mais tarde.

AFECTA OPERAÇÕES

esta parte define-se para cada operação de cada modelo, as máquinas onde essa operação poderá ser realizada. Como referimos atrás cada entidade composta MODELO,OPERACAO é dona de um set constituído pelas máquinas onde essa operação desse modelo de sapatos pode ser feita. Em resumo esta rotina preenche o set (SET.MACH) de cada entidade composta referida atrás. Note-se que a utilização de um set permite modelizar a possibilidade de uma operação ser executada em postos diferentes.

Mais uma vez são executados testes de consistência aos dados de entrada, ou seja faz-se a verificação da existência não só da operação, mas também da máquina onde Será processada. No caso de isto não acontecer as seguintes mensagens de erro:

ERRO OPERAÇÃO DESCONHECIDA

ERRO DE INCONSISTÊNCIA (MAQUINA MA NAO ESTA DEFINIDA)

consoante o tipo de erro. Mais uma vez a rotina MANIPUILA_ERRO é chamada e a simulação é interrompida.

Em todas as rotinas atrás descritas após a fase de inicialização, todos os dados lidos são imprimidos num conjunto de ficheiros para uma possível confirmação da leitura (ver Manual de Utilização).

VERIFICA.AFECTAÇÃO

Esta rotina serve exclusivamente para fazer alguns testes de coerência adicionais.

A sua função é a de verificar que todas as operações de todos os modelos definidas são processadas em alguma máquina. Mais uma vez se tal não se verificar uma mensagem de erro aparecerá no écran com o seguinte formato:

INCONSISTÊNCIA EM VERIFICA.OPERAÇÕES
MODELO X NAO TEM A OPERAÇÃO Y DEFINIDA

b) Módulos básicos do processo de simulação.

Após a fase de inicialização das entidades e os seus atributos acima descritos passamos à fase da simulação propriamente dita. Para isto é activado o processo GENERATOR e dado inicio à simulação.

Para facilitar a compreensão desta parte do programa iremos explicar o funcionamento dos processos ou rotinas à medida que estes aparecem na rotina GENERATOR

PROCESS GENERATOR

É com este processo que a simulação propriamente dita começa a correr.
As principais funções deste modulo são:

- Chamar a rotina LE_ESTADO_INICIAL, (rotina responsável pela geração de um estado inicial da fábrica não vazio), caso esta opção tenha sido activada pelo utilizador.

- Activar o processo avarias, processo este responsável por simular a existencia de avarias temporárias nas máquinas ou ausencias do posto de trabalho, este processo é activado apenas se o utilizador o tiver activado.

Após esta fase de semi-inicialização, o processo entra num ciclo que é executado uma vez no início de cada dia que iremos simular. O funcionamento genérico em cada dia é então o seguinte:

-O processo chama a rotina INITIALISE.PROGD. Esta rotina tem as funções de ler o número de lotes das ordens de fabrico que serão lançadas no dia em causa, bem como as respectivas alterações ao layout (se as houver).

-O passo seguinte é activar (se for o primeiro dia ou fazer o "RESUME" nos outros) o processo ALTERA.LAYOUT. Mais uma vez este processo é activado ou não dependendo de um dos parâmetros escolhidos pelo utilizador.

-Seguidamente é activado para cada linha WLINE, o respectivo processo LANCA_WLINE. Cada instancia deste processo refere-se a uma determinada WLINE, e

tem como função fazer o lançamento em produção dos lotes (activação das diferentes instancias do processo LOT) que serão processados nessa linha

A fase seguinte é uma instrução que faz com que o processo espere até ao fim do dia.

No fim do dia faz-se um teste se o utilizador definiu que queria gravar o estado da simulação, e se escolheu o dia em causa para o efeito.Se assim for, é chamada a rotina GRAVA_ESTADO_INICIAL.

Entramos então numa fase de manipulação das variáveis que permitirão à rotina GERA_REPORT_DIÁRIO gerar os dados respeitantes ao dia em causa. Dá-se então a reinicialização (RESET) dessas variáveis para voltarem a acumular dados para o dia seguinte.

A última fase permite ao utilizador acumular estatísticas apenas a partir de determinado dia (DIA_RECOMEÇO), fazendo-se nesse caso o RESET das variáveis em causa, voltando o programa para o início do ciclo.

Quando se chega ao fim do último dia de simulação, é chamado o processo ACABA_SIMULAÇÃO que é responsável por retirar os lotes do sistema (esvaziar os stocks quer das máquinas quer das distribuidoras), para permitir correr várias simulações seguidas.

Passemos então a analisar cada um dos processos ou rotinas descritos acima.

LE_ESTADO_INICIAL

Como referimos atrás esta rotina permite definir o estado dos stocks das máquinas e das distribuidoras no início da simulação. Assim a rotina lê um ficheiro que contém a informação relativa à definição do estado inicial, e actíva várias instâncias do processo LOT, fornecendo-lhes um conjunto de atributos que a distribuidora necessita para os manipular (ver o apêndice D).

A rotina entra então num ciclo que acaba quando o ficheiro de leitura de estado inicial chegar ao fim. Vejamos o funcionamento deste ciclo:

A primeira instrução dentro do ciclo corresponde à activação de uma instancia de um processo LOT.

Seguidamente, e apartir da informação contida no ficheiro é determinado o índice do modelo a que esse lote pertence.Esta informação não é guardada directamente num dos atributos de lote, servindo para efectuar uma busca na entidade composta, e determinar o índice da ordem fictícia a que este lote pertence (ver Apêndice D).

Após determinar o modelo a que pertence, o processo vai ler o código da operação que irá realizar, e usando estas duas informações irá determinar o respectivo índice (LOT.OPER).

-A rotina lê então o número de operações já realizadas por este lote, e preenche o respectivo campo.

Falta então dizer em que linha de produção PLINE (o seu índice) se encontra o lote, preenchendo-lhe o atributo (LOT.PLINE_IND).

Uma vez activados, os lotes chamam a distribuidora que os envia para a máquina ou os suspende, entrando os lotes assim no funcionamento normal.

PROCESS AVARIA

Este processo simula todas as interrupções (desde avarias propriamente ditas até pausas das empregadas,..) capturando a máquina avariada durante o tempo da "avaria". O processo no fundo não faz mais do que no instante escalonado para haver uma avaria de determinada máquina, este faz um REQUEST dessa máquina com uma prioridade superior à de qualquer lote, e liberta-a (RELINQUISH) no fim do tempo considerado para a avaria.

a realidade a avaria pode não ocorrer exactamente no instante escalonado, (no caso da máquina estar ocupada) tendo que esperar pelo fim da operação do lote que ocupa a máquina nesse momento. Isto não nos parece ter nenhum problema, uma vez que o tempo de avaria da máquina se mantém, e evita-nos usar interrupções o que complicaria o programa. A única desvantagem deste método consistiu na aumento da dificuldade acrescida de determinar estatísticas de ocupação das máquinas (voltaremos a este assunto mais tarde).

INITIALISE.PROGD

Como referimos durante a explicação do processo GENERATOR, esta rotina é chamada no início de cada dia, e tem como funções ler os ordens de fabrico que serão lançadas em cada linha de produção WLINE (no sentido de se irão fazer fase da costura ou na linha B ou C), as respectivas quantidades de lotes e as alterações de layout no dia em causa.

rotina pode então ser dividida em duas partes distintas: a referente às ordens de fabrico, e uma referente às alterações de layout.

Na primeira parte a rotina lê um conjunto de campos de identificação das ordens de fabrico, as linhas WLINE onde cada uma delas será processada, e armazena toda a informação nos respectivos sets (SET.LANC) das entidades compostas PROGD,WLINE. Esta informação armazenada será utilizada pelo processo LANCA_WLINE a que nos iremos referir a seguir.
Mais uma vez se fazem um conjunto de testes para verificar a consistência dos dados, sendo chamada a rotina MANIPULA_ERRO, que interrompe a simulação, no caso de esta não se verificar.Os testes feitos consistem na verificação da existência da linha WLINE, e na existência da ordem de fabrico que será lançada.

Na segunda parte, a rotina lê, para as máquinas cujo layout será alterado, as nomes as quantidades a colocar e as respectivas linhas de produção PLINE onde se encontram. Criam-se assim um conjunto de entidades temporárias (MACH.TO.CHANGE) que serão guardadas no set (SET.CHANGE.MACH) das respectivas entidades compostas PROGD,PLINE. Esta informação armazenada no conjunto de sets das entidades compostas será usada pela rotina ALTERA.LAYOUT a que nos iremos referir mais tarde.
Também nesta parte se faz um teste de coerência consistindo em verificar se o tipo de máquina que se quer alterar se encontra na linha PLINE.

PROCESS ALTERA.LAYOUT

Este processo controla todas as alterações ao layout da fábrica, tanto alterações off-line (definidas pelo planeamento e implementadas no inicio de um dia) como alterações on-line (implementadas ao longo de um dia devido a acumulação de stock para uma máquina). A sua função é no fundo simular o comportamento dos responsáveis pela implementação destas alterações na fábrica.

O processo está dividido em duas partes. A primeira responsável pela implementação das alterações off-line, corre no inicio de cada dia. A segunda monitoriza de tempos a tempos o estados dos stock tomando medidas correctivas se estes se tornarem excessivos.

Quando definimos o layout inicial na rotina INITIALISE.LAYOUT, esta cria e inicialisa todas as máquinas que poderão ser usadas em cada linha de produção PLINE. Sendo assim, este processo. Assim este processo funciona requerendo e libertando as máquinas existentes (restrição de capacidade) quando considera esta actuação necessária. A requisição é sempre feita com prioridade superior à prioridade dos lotes.

Alterações off-line.

Inicialmente verifica-se se existem alterações programadas para o dia actual (consultando o SET.CHANGE.MACH). No caso afirmativo, o processo desfaz as alterações on-line feitas anteriormente, e actualiza o layout requisitando ou libertando máquinas. Convem chamar a atenção para o facto de o processo actualizar o camp PERCENT_UTIL das máquinas que manipula, de forma a que as taxas de utilização das máquinas sejam correctamente calculadas.

Alterações on-line

Este parte do processo é relativamente complexa dado o tipo de decisões que devem ser tomadas (para uma discussão interessante sobre alguns problemas que este processo poem e uma comparação com o funcionameto da fábrica, refira-se ao Apêndice B).

O processo vai monitorizando ao longo do dia o estado dos stocks. Se encontrar um acima de um valor pré-definido por máquina em utilização, o processo implementa sequencialmente o seguinte algoritmo:

Procupar a máquina menos utilizada na linha.

Caso haja disponibilidade da máquina a colocar:

> Se a máquina com utilização mínima for muito pouco utilizada e existirem colocadas mais do que uma unidades, é retirada uma destas e colocada a máquina em falta.
>
> Caso contrário, se existirem postos vagos na linha é colocada a máquina em falta.

Se nenhum dos casos anteriores se verificar, e a máquina com stock em excesso for passível de ser colocada em alternativa num posto (máquina MA) então procede-se a esta operação colocando no SET.MAQ.ALTERNATIVAS da máquina menos utilizada uma referencia à maquina com excesso de stock que será depois utilizada pela distribuidora.

O algoritmo apresentado é o resultado de um estudo cuidadoso que fizemos sobre a forma mais provável de actuação na fábrica. Para mais considerações a este respeito, refira-se ao apêndice E.

PROCESS LANCA_WLINE

Como referimos atrás este processo é responsável pelo lançamento dos lotes em produção. Existe uma instancia deste processo para cada dia e para cada linha de produção WLINE definida. Assim cada instancia lança em produção os lotes de determinado dia e que serão processados em determinada linha de produção.
O seu funcionamento é muito simples:

Como referimos atrás em INITIALISE.PROGD, cada entidade composta PROGD,WLINE é detentora de um set com a informação respeitante às ordens de fabrico e respectiva quantidade dos lotes que serão lançados em produção. O processo executa assim uma pesquisa nesse SET, e lança os lotes em produção de acordo com a informação lá contida.

Convém ainda fazer mais algumas referências acerca deste processo. Em primeiro lugar, quando da activação de cada processo LOT, é lhe fornecido um conjunto de parâmetros:

Índice da ordem de fabrico a que ele pertence.

Qual a última operação que ele fez.

Quantas operações já realizou

Os dois últimos campos são fornecidos a zero uma vez que o lote se encontra no início do seu processo produtivo não tendo por isso realizado qualquer operação. A razão de serem fornecidos estes campos será compreendida na explicação do processo LOT, e da rotina DISTRIBUIDORA.

Um último aspecto a comentar diz respeito que o intervalo entre duas activações sucessivas de instancias LOT, é constante durante durante o dia em causa.

GRAVA_ESTADO_INICIAL

Esta rotina é chamada num dia determinado pelo utilizador (se este o desejar), e o seu objectivo é gravar o estado actual do sistema de modo a permitir que outras simulações corram a partir de um estado inicial igual a este. É então escrito para um ficheiro um conjunto de dados, que permitirão à rotina LE_ESTADO_INICIAL definir um estado inicial para outra simulação.

Esta rotina percorre os stocks de todas as distribuidoras e de todas as máquinas e para cada lote aí encontrado guarda os seguintes campos:

Qual o modelo a que o lote pertence

Qual a última operação que este realizou

Quantas operações realizou

Qual a linha de produção PLINE em quer se encontra

Qual a linha de produção WLINE a que pertence

GERA_REPORT_DIÁRIO

Esta rotina é a responsável por produzir o relatório no fim de cada dia de simulação. O seu funcionamento é relativamente simples, não sendo necessário ser aqui explicado.

Resta explicar o núcleo da simulação: processo LOT, e a rotina DISTRIBUIDORA.

PROCESS LOT

Cada instancia deste processo diz respeito a um lote fisico existente na fábrica.

Quando um lote acaba de realizar determinada operação (numa determinada linha) requer a atenção da respectiva distribuidora ao lhe ser enviado. Podem acontecer então três coisas:

- Esta pode mandá-lo imediatamente para a máquina onde será realizada a operação seguinte (que é escolhida por ela).

- Pode coloca-lo no seu stock, ficando o lote a aguardar até que a distribuidora decida executar a opção anterior.

- Pode mudar de fase de produção, por já ter realizado todas as operações da fase onde se encontra (este caso é identico ao primeiro, sendo apenas indicado ao lote que houve uma mudança de fase, para que sejam recolhidas as estatísticas correspondentes à fase).

Vejamos então o funcionamento do processo:

Quando um processo LOT, acaba de realizar determinada operação, ou quando entra no sistema produtivo (momento da sua activação), este chama imediatamente a rotina DISTRIBUIDORA, passando-lhe a sua identificação explicitamente, e um todo o conjunto de atributos que este detém já referidos atrás. Desta forma a rotina DISTRIBUIDORA recebe toda a informação necessária reletivamente ao lote em causa. Da informação recebida ela sabe qual o estado de produção do lote (quantas operações já realizou, qual a última operação, em que linha de produção o lote se encontra, se acabou de ser activado, se é um lote para definir o estado inicial,...). Quando a rotina DISTRIBUIDORA chegar ao fim, ela devolve um conjunto de dados para o processo que passamos a referir:

STATUS é uma flag de autorização. Consoante o seu valor, o processo LOT sabe se pode passar à operação seguinte fazendo o REQUEST da respectiva máquina, ou se este se deve inserir no stock da DISTRIBUIDORA, e suspender-se aguardando o momento da sua reactivação. Esta flag serve ainda para um controle adicional; no caso de o seu valor ser "FIM" indica ao processo que ele não fará mais nenhuma operação ou por as ter realizado todas ou por ter acabado o tempo de simulação

OLD_FASE é uma flag que indica se o LOT acabou determinada fase de produção.

NEW_FASE é uma flag que indica se o LOT está a iniciar uma determinada fase de produção.

Estas últimas duas variáveis destinam-se a informar o processo se é altura de actualizar variáveis (com vista a obter dados estatísticos acerca do funcionamento do sistema) que acumulam o número de lotes por dia que acabaram determinada fase, e número de lotes por dia que iniciaram determinada fase de produção.

Além das variáveis descritas acima que lhe são passadas explicitamente, um conjunto de atributos do próprio LOT são alterados pela rotina DISTRIBUIDORA. Estes atributos permitem à distribuidora saber qual a operação que este irá realizar (LOT.DISTR_COD), e em que máquina (LOT.MACHINE).

O LOT quando reactivado ou se o STATUS for OK, requesita então a máquima durante o tempo de processamento da operação, libertando-a depois.

Após esta fase, são escritos num ficheiro um conjunto de dados que pertmitem ajudar a verificar o bom funcionamento da simulação, e o LOT volta ao início do ciclo (até que tenha realisado todas as operações ou que o tempo de simulação tenha chegado ao fim) chamando de novo a rotina DISTRIBUIDORA.

Vemos assim que para o próprio LOT, todo o processo de distribuição é transparente. Os únicos atributos que este usa é o referentes à sua próxima operação e em que máquina esta se irá realizar. Todos os outros atributos são manipulados por rotinas exteriores a este e destinam-se a ser usados pela rotina DISTRIBUIDORA.

DISTRIBUIDORA

Como já referimos atrás a DISTRIBUIDORA recebe a identificação (índice) do LOT, podendo assim ter acesso a todos os seus atributos. A partir do valor destes, a DISTRIBUIDORA tem acesso a toda a informação referente ao LOT, e altera-lhe os seus atributos quando for necessário.

Vejamos então como tudo se passa:

Quando o LOT chama a DISTRIBUIDORA imediatamente após ter entrado no sistema produtivo, dois dos seus atributos, LOT.MACHINE e OLD.OPERATION apresentam o valor zero. Estes dois valores representam que o LOT não libertou nenhuma máquina e que não realizou nenhuma operação, e foram-lhe passados pela rotina LANCA_WLINE.

No caso do LOT chamar a DISTRIBUIDORA imediatamente após ter entrado no sistema produtivo, mas correspondendo a lotes que responsáveis pela existência do estdo inicial não nulo, este tem LOT.MACHINE=0 (como na situação anterior), mas LOT.OPER com o índice da última operação que realizou. Neste caso os argumentos foram-lhe passados pelo processo LE_ESTADO_INICIAL.

Alem destes atributos a distribuidora manipula o atributo LOT.DISTR_COD que lhe permite saber qual a proxima operação que vai fazer cada LOT suspenso no stock.

Usando então os atributos atrás referidos, a DISTRIBUIDORA determina qual a próxima operação a ser feita, e em que máquina o será, bem como as respectivas variáveis (STATUS, NEW_FASE e OLD_FASE) que serão passadas explicitamente ao LOT.

Na segunda parte desta rotina é procurado qual o lote que vai ser enviado para a máquina que acabou de ficar livre.

Aqui é evidentemente necessário levar em conta com a técnica de distribuição, variando a implementação de caso para caso. Numa estratégia Fifo, procura-se o primeiro lote (a fila de espera no stock está organizada de uma forma Fifo) que necessite da máquina. Numa estratégia aleatória escolhe-se aleatóriamente um dos lotes da fila.

Caso não seja encontrado nenhum lote à espera da máquina, verifica-se se existe um posto alternativo a essa máquina (Percorrendo SET.MAQ.ALTERNAITVAS) à máquina em causa. Se existir procura-se um lote na fila dessa máquina alternativa.

Para considerações sobre a implementação de estratégias de distribuição complexas, refira-se ao Apêndice A.

3.6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O modelo que acabamos de apresentar, é no nosso ponto de vista uma aproximação muito razoável ao processo produtivo da GROWELA. De facto, estão modelizados quase todos fenómenos que tem pelo que sabemos influência no desempenho do sistema. Evidentemente que a exploração e a utilização do modelo fará sobressair muitos defeitos que este terá. No entanto estamos convencidos que as eventuais alterações que sejam necessárias não entrarão em conflito com as opções tomadas até ao momento, sendo por esta razão o modelo uma boa base para evoluções futuras.

Apêndice A : Implementação de regras de distribuição

A implementação de regras de distribuição próximas das usadas na fábrica, implicará decerto a utilização de algumas estruturas de dados contendo informação de suporte. Este apêndice expoem algumas ideias para a integração da informação necessária no modelo de simulação.

Uma análise mais profunda do trabalho da distribuidora, leva à conclusão que ela necessita de pelo menos a seguinte informação:

1- Gamas operatórias e afectação de máquinas às operações

2- Alterações possíveis à sequencia da gama operatória.

3- Estado de cada lote (operações já feitas por exemplo).

O ponto 1 já está implementado. O programa através da entidade MODEL,OPERATION permite definir a gama operatória e afectar possíveis máquinas às operações.

O ponto 2 não está neste momento implementado mas a sua implementação é fácil apartir das estruturas de dados existentes. Os problemas que se poem são de duas naturezas: Como representar as alternativas à sequencia das operações e como decidir entre alternativas ?

A representação entre alternativas diferentes pode ser feita através de uma rede (como uma rede CPM), em que cada segmento da rede representa um conjunto de operações com uma sequencia fixa (em conversa com elementos do departamento de planeamento na fábrica, verificamos que existem sequências compridas de operações que devem ser feitas por uma certa ordem).

A representação da rede de cada modelo, poderia ser feita através da criação da entidade MODEL,SEGMENTO que para cada modelo e cada segmento conteria um conjunto ordenado(set) com as operações na respectiva sequencia, e outro conjunto com os segmentos que o seguem. Dado o baixo número de modelos e segmentos, não é de esperar que esta solução ponha graves problemas de memória.

A decisão entre alternativas de sequencia resume-se a escolher qual o segmento seguinte a ser executado. Por razões várias, somos levados a querer que lotes da mesma OF tendem a seguir a mesma sequencia. Assim a decisão entre sequencias alternativas resume-se a decidir a qual a sequencia pela qual os restantes lotes de uma OF serão feitos.

Nota: Ao observar as distribuidoras a trabalhar, ficamos com a sensação que esta opção sobre a sequência pode também ser tomada não por OF mas por modelo, isto não altera a ideia que aqui expomos, apenas altera a sua implementação.

O nosso objectivo neste momento não é discutir quais serão os critérios de decisão mas sim como estes poderão ser implementados. Uma possibilidade interesante seria a seguinte:

Na realidade existem duas e não uma pessoa com responsabilidades directas na distribuição. A encarregada que define prioridades e o que deve ser feito,.e a distribuidora que executa as ordens. Ora o trabalho da encarregada é modelisável por um processo que monitoriza de tempos a tempos o estado do sistema e toma decisões sobre OF's que são depois utilisadas pela destribuidora para enviar os lotes para as máquinas. Desta forma, à entidade OF pode ser acrescentado um vector (implementado por uma string ou um conjunto) onde o processo ENCARREGADA iria construindo qual a sequencia de segumetos que os lotes dessa OF iriam seguir. A destribuidora quando chamada por um lote para decidir qual a sua operação seguinte, poderia manter o lote suspenso até que a decisão sobre a sequencia a seguir pela sua OF tivesse sido tomada.

Note-se que decidir qual a sequência porque as operações são feitas é diferente de decidir qual a máquina onde uma operação deve ser feita ou quando a operação deve ser feita. As duas últimas opções são tomadas inteiramente pela distribuidora. A separação destes dois tipos de decisão seria feita recorrendo à utilização de duas filas de espera: Uma (correspondente à que já está implementada), em que a decisão sobre qual a operação seguinte já foi tomada, estando o lote a agardar a definição da máquina e do instante em que é enviado para a máquina; outra em que os lotes aguardam a decisão sobre a sequência de operqações. Do ponto de vista implementacional esta solução é interessante dado que ao separar os lotes reduz o tempo para percorrer as duas filas.

É interessante verificar que este modelo das duas filas aproxima-se muito do que se passa na fábrica, dado que a distribuidora tem um conjunto de lotes com que está no momento a trabalhar e tem outros que nas palavras dela são definidos como estando " parados ".

O ponto 3 é de resolução imediata se optarmos pela solução anterior. De facto para conhecer as operações que cada lote já fez temos duas soluções: ou garantimos que a sequencia de operações é igual para todos os lotes de cada OF e assim o conhecimento da última operação que o lote fez e uma consulta à sua OF são suficientes para definir o seu estado, ou cada lote pode guardar quais os seguementos de loperações que já fez num array de booleanos por exemplo.

Apêndice B : Alteração off-line e on-line do layout.

Em conversa com elementos responsáveis pelo planeamento do layout na fábrica, concluimos que este é normalmente modificada quando há alterações grandes nos modelos em produção. Por outro lado, uma análise dos resultados da simulação demostra a extrema dificuldade em planear à priori correctramente o layout necessário. Assim é obvio que no dia a dia da fábrica, existirão com certeza empregadas que deixam de estar a fazer uma operação e passam a fazer outra.

Tal como nos apercebemos existem três tipos de alterações on-line:

- Aumento do número de postos de trabalho. Quando existem postos e pessoal disponível, é possível corrigir um aumento de stock numa máquina aumento simplesmente o número de máquinas existentes.

- Substituição de uma máquina por outra diferente. Neste caso é apenas necessário que a nova máquina esteja disponível, que a operária a consiga manejar e que exista alhuma máquina a ser pouco utilizada passiível portanto de substituição.

- Alternância de operações por colocação de uma mesa de trabalho ao lado da máquina. Esta operação é muito frequente, e permite que uma empregada que manipula uma máquina pouco utilizada trabalhe nos tempos livres em operações manuais.

Estas três variantes tem características diferentes e são ambas simuladas no modelo. A terceira variante em particular justifica-se porque há um número rasoável de máquinas que são pouco utilizadas, mas que não podem ser substituidas porque são únicas na linha.

Da discussão anterior conclui-se que o processo de decisão sobre alteração do layout on-line é implementado em três fases:

1- Identificar o problema: acumulação de stock.

2- Decidir qual das soluções possíveis aplicar.

3- Implementar a decisão tomada.

Vamos então analisar cada uma destas fase:

1- A identificação do problema é feita monitorizando de tempos a tempos o estado das filas de espera. Temos aqui dois parâmetros: o tempo inter-monitorizações e o nível de stock apartir do qual actuar.

O primeiro parâmetro é pouco significativo, parecendo-nos que uma monitorização por hora seria completamente suficiente.

O segundo parâmetro é importante, dado que dele depende directamente o nível de stock existente na fábrica. Em conversa com um dos responsáveis, ficamos com a sensação que um nível de cinco ou seis lotes por máquina é já suficiente para os preocupar.

2 - A decisão deve ser tomada de acordo com as restrições de capacidade produtiva (número de postos e disponibilidade de máquinas). Deve também ainda levar em consideração com questões qualitativas como sendo: a inadmissibilidade de trocar um posto muito frequentemente ou o tempo de resposta à alteração (este tempo deve ser conhecido de forma a evitar exagerar na correcção ao layout). Finalmente a decisão deve respeitar práticas correntes na fábrica, como não rever frequentemente o layout, e principalmete não retirar máquinas que sejam únicas.

Pensamos que o processo de decisão pode ser modelizado por um conjunto de decisões sequenciais:

- Tentar substituir.

- Tentar acrescentar máquina.

- Tentar alternar operações (apena no caso de operações manuais segundo julgamos saber).

Estas três decisões são explicadas no processo ALTERA_LAYOUT.

3 - A implementação no modelo da decisão tomada é relativamente complexa, e tem que levar em consideração com as opções tomadas ao nível de representação de máquinas (Apêndice C), técnicas de distribuição afectação de máquinas a operações, etc.

A solução adoptada foi a seguinte: A implementação do aumento e susbestituição de postos de trabalho é feita de uma forma em tudo semelhande à usada para implementar alterações off-line. A implementação da alternância de operações num mesmo posto é complexa dado que deve levar em consideração com os seguintes factos:

- A operação a que o posto se destinava originalmente tem prioridade.

- Deve ser possível conhecer independentemente quantos lotes estão à espera de cada uma das duas operações realisadas no posto, de forma a poder retirar a mesa quando esta já não for necessária.

A implementação foi feita guardando em cada uma das entidades MACHINE um conjunto contendo que outras máquinas existem no posto (na realidade pensamos que apenas podem existir eventualmente uma mesa de trabalhos manuais). Assim, sempre que a distirbuidora é chamada para enviar um lote para uma máquina, ela verifica primeiro a fila da máquina enviando um lote se existir algum, senão, é enviado um lote que estava à espera da máquina alternativa.

Esta solução parece-nos muito próxima da realidade em vários aspectos, tendo no entanto apenas um problema: Imaginemos o seguinte caso, existem 2 máquinas VG que estão a ser pouco utilizadas e a fila em MA está a aumentar. Os quarenta postos da linha estão ocupados e não há nenhuma máquina que possa ser substituida. A solução na fábrica seria colocar um posto manual ao lado de uma das máquinas VG, partilhando a operária. No modelo, dado que é impossível distinguir entre as duas máquinas VG, a indicação à distribuidora que a operação MA poderia ser feita no posto da máquina VG corresponderia a colocar duas mesas (tantas quantas as máquinas) e não uma única tal como poderia ser eventualmente desejado.

Para mais promenores sobre a implementação refira-se ao processo ALTERA_LAYOUT.

Apêndice C : Grupos de máquinas vs Máquinas individuais

Quando começamos a planear o modelo de simulação, debatemo-nos na altura com uma decisão: Implementar todas as máquinas do mesmo tipo na mesma linha como recursos identicos partilhando a mesma fila de espera (defindo que existem 5 máquinas do tipo 3 por exemplo) ou tratar cada máquina individualmente com a sua própria fila de espera e atributos.

A primeira opção (aquela que acabamos por tomar) implica uma grande facilidade na requisição de máquinas tanto pelos processos LOT como pelo processo ALTERA_LAYOUT, dado que para pedir uma máquina MA basta descobrir qual o índice desse tipo de máquinas e pedir uma, recebendo então a primeira livre. O inconveniente é a impossibilidade de inidividualizar máquinas com a sua própria eficiencia, fila independente avarias, etc.

A segunda opção tornaria os processos que manipulam máquinas mais complexos dado que obrigaria à criação de uma entidade MAQUINA_TIPO que conteria um conjunto com todas as máquinas desse tipo, que teria que ser manipulada pelos processos.

Estamos convencidos, que só levando a simulação a um grande pormenor se justificaria a decisão pela segunda opção, no entanto resolvemos deixar aqui o aviso dos problemas que a opção tomada pode colocar.

Apêndice D : Gravação e leitura do estado do sistema.

Para evitar um longo periodo de aquecimento da simulação, é necessário que os stocks não estejam vazios no início desta. Isto é conseguido gravando o estado da simulação num determinado dia, e utilizando este estado como estado inicial, para outros "runs's".

A gravação e leitura do estado exacto da simulação é um processo difícil que exige, que se guarde o estado de todos os lotes, entidades permanentes e filas de espera. No entanto verifica-se que este esforço de exactidão alem de ser de execução difícil é desnecessário se o objectivo for apenas definir um estado inicial para a simulação.

De facto guardando apenas as operações que cada lote já fez, e fazendo com que este, durante o procesoode leitura, chame a distribuidora que ou o envia para a máquina ou o suspende, é possível uma aproximação muito razoável ao estado do sistema.

Note-se que o estado inicial não é constituido apenas pelo stock de cada máquina, dado que os lotes que o constituem tem que pertencer a um dado modelo para que a distribuidora saiba para que máquina ele deve ir depois, e tem que pertencer a uma dada linha de produção, para que possam avançar por exemplo da pré-costura para a costura. Temos assim que o estado inicial é constituido por um conjunto de lotes de vários modelos e linhas de produção. Por outro lado, dado que estes lotes não devem ser levados em consideração para a recolha de estatísticas, é necessário que eles sejam identificados de uma forma especial. A solução para estes dois problemas foi criar um conjunto de OF's especiais chamadas "E", uma por cada modelo e linha de produção onde são agrupados todos os lotes iniciais do mesmo modelo. Temos assim que as NREALOF primeiras OF's são definidas normalmente, entrando os seus lotes no sistema através do PDP. as restantes N.MODELO*N.WLINE OF's são usadas pelos lotes do estado inicial.

Apêndice E: Medidas de performance.

Nota: para uma referência completa sobre este tópico consulte o manual de utilização.

As medidas a recolher numa simulação dependem sempre do objectivo em causa. No nosso caso, o objectivo é apercebermo-nos de quais são os problemas da fábrica. Assim as estatísticas que nos interessam tem a ver com a produtividade, com o volume de stock e com o tempo que os lotes passam no sistema.

Para avaliar o impacto do layout no nível de stocks, é necessário conhecer diariamente a taxa de utilização das máquinas e estatísticas referentes às filas de espera. Para conhecer quais os pontos que atrasam mais a produção, é necessário saber para cada fase qual o tempo que os lotes demoram a atravessar, etc. O problema que se põe com a recolha de estatísticas é como apresentar todos estes dados de uma forma fácil de assimilar para o utilizador. Por outro lado os dados devem ser passíveis de serem importados para programas de análise de dados como folhas de cálculo por exemplo.

No nosso caso, o relatório produzido pela simulação é constituído por duas partes distintas.

Na primeira parte, é feita para cada dia de simulação a apresentação dos factos mais importantes que o caracterizaram, como seja: taxas de utilização de cada máquina, comprimentos de todas as filas de espera, PDP's, maquinas não utilizadas, máquinas em falta e número de horas extraordinárias utilizadas e respectivas máquina.

Na segunda parte a informação é apresentada de uma forma tabular de forma a ser importável para folhas de calculo. São apresentados dados sobre a forma das seguintes tabelas:

-Para cada máquina e cada dia a taxa de utilização, o número médio de máquinas disponíveis e o tamanho médio da fila.

-Para cada fase e em cada dia o número de lotes que entraram e saíram da fase e o tempo mínimo médio e máximo que os lotes saídos nesse dia demoraram a atravessar o sistema

São ainda apresentadas estatísticas globais sobre tempos e taxas de utilização.

FACULDADE DE ENGENHARIA
UNIVERSIDADE DO PORTO
BIBLIOTECA

0000101634