PLANEJAMENTO DE UM SISTEMA INTEGRADO PARA SEQUENCIAMENTO DE PRODUÇÃO EM UMA MALHARIA

Nathalia de Souza Talma

MONOGRAFIA SUBMETIDA À COORDENAÇÃO DE CURSO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO DA UNIVERSIDADE FEDERAL DE JUIZ DE FORA COMO PARTE DOS REQUISITOS NECESSÁRIOS PARA A GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO.

Aprovada por:

_____

Prof. Fernando Marques de Almeida Nogueira, M.Sc.

_____

Prof. Eduardo Breviglieri Pereira de Castro, D.Sc.

_____

Prof. Candida Cristina Bosich Pinto, D.Sc.

JUIZ DE FORA, MG - BRASIL

DEZEMBRO DE 2007

PLANEJAMENTO DE UM SISTEMA INTEGRADO PARA SEQUENCIAMENTO DE PRODUÇÃO EM UMA MALHARIA

Nathalia de Souza Taima

MONOGRAFIA SUBMETIDA À COORDENAÇÃO DE CURSO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO DA UNIVERSIDADE FEDERAL DE JUIZ DE FORA COMO PARTE DOS REQUISITOS NECESSÁRIOS PARA A GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO.

Aprovada por:

Prof. Fernando Marques de Almeida Nogueira, M.Sc.

Prof. Eduardo Breviglieri Pereira de Castro, D.Sc.

Prof. Candida Cristina Bosich Pirito, D.Sc.

JUIZ DE FORA, MG - BRASIL

DEZEMBRO DE 2006

TALMA, NATHALIA DE SOUZA

Planejamento de um Sistema Integrado para Sequenciamento de Produção em uma Malharia.

[Juiz de Fora] 2006

VIII, 40P. 29,7 cm (EPD/UFJF, Graduação, Engenharia de Produção, 2006)

Monografia - Universidade Federal de Juiz de Fora, Departamento de Engenharia de Produção.

1- Programação da Produção

2- Especificações do Sistema

I - EPD/UFJF II – Título/serie

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho a meus familiares que tornaram possível minha formação em Engenharia de Produção e ao meu namorado que esteve presente em grandes momentos ao longo da realização deste trabalho.

AGRADECIMENTO

Agradeço a realização deste trabalho à minha família pelo apoio incondicional, principalmente em minhas constantes ausências; ao meu namorado pelas constantes ajudas e ao professor Fernando Nogueira pela orientação, apoio e paciência.

Resumo da monografia apresentada à Coordenação de Curso de Engenharia de Produção como parte dos requisitos necessários para a graduação em Engenharia de Produção.

PLANEJAMENTO DE UM SISTEMA INTEGRADO PARA SEQUENCIAMENTO DE PRODUÇÃO EM UMA MALHARIA

Nathalia de Souza Talma

JANEIRO/2007

Orientador: Prof. Fernando Marques de Almeida Nogueira, M.Sc.
Curso: Engenharia de Produção

O sequenciamento da produção é uma atividade complexa devido, entre outros fatores, à sua natureza combinatória. Para contornar essa complexidade, regras de prioridade podem ser utilizadas. Embora essas obtenham relativo sucesso em determinadas situações, apenas algumas características do sistema produtivo e/ou do produto como, por exemplo, data de entrega e tempo de processamento, são consideradas pelas mesmas. A partir disso, observa-se a necessidade de um seqüenciamento de produção elaborado e não intuitivo, como acontece atualmente na malharia estudada. Diante dessa necessidade, observa-se a oportunidade de realizar o planejamento de um sistema computacional que funcionasse como um módulo de seqüenciamento da produção do atual sistema de PCP (Planejamento e Controle da Produção) existente na empresa. Para isso inicia-se um estudo sobre os modelos de sequenciamento existentes, assim como métodos de resolução de problemas *job shop* de sequenciamento. Por fim o módulo do sistema é especificado através da definição do que irá alimentá-lo, as saídas que ele deverá gerar e suas especificações técnicas.

Palavras chave: Planejamento, *Scheduling*, *Job shop*, Especificação e Produção

Abstract of work presented to Department of Production Engineering as a partial fulfillment of the requirements for the degree of Industrial Engineering.

PLANEJAMENTO DE UM SISTEMA INTEGRADO PARA SEQUENCIAMENTO DE PRODUÇÃO EM UMA MALHARIA

PLANNING OF THE INTEGRATED SYSTEM FOR SCHEDULING

Nathalia de Souza Talma

JANUARY/2007

Advisor: Prof. Msc. Fernando Marques de Almeida Nogueira
Degree: Industrial Engineering

The production scheduling is a complex task due to, among many factors, its probabilistic nature. In order to solve this complexity, priority rules may be used. Although the above obtain a relative success in determined situations, just some characteristics of the productive system and/or product such as delivery date and processing time are considered by the same rules. As from this premises, it is been observed the need of an elaborate production scheduling, not intuitive like it is been undertaken in our case study. Because of this, it is been observed the opportunity to take on a planning of a computational system that worked as if a production scheduling module of the current PCP system (Planning and Production Control) being carried out at the company right now. This it is started a study of the existing scheduling models as well as methods for the resolution of job shop scheduling. Finally the system module is specified by the definition of what will feed it, the generated exits and its technical specifications.

Keywords: *Planning, Scheduling, Job shop e Specification e Production*

Sumário

DEDICATÓRIA.....iii
AGRADECIMENTO iv
RESUMO v
ABSTRACT vi

Capítulo I : INTRODUÇÃO 1
1.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS.....1
1.2 OBJETIVOS.....1
1.3 JUSTIIFICATIVAS 1
1.4 ESCOPO DO TRABALHO 2
1.5 METODOLOGIA 2
Capítulo II : REVISÃO BIBLIOGRÁFICA 4
2.1 PLANEJAMENTO, CONTROLE E PROGRAMAÇÃO DA PRODUÇÃO..... 4
2.1.1 Sistemas de Produção.....4
2.1.2 Planejamento e Controle da Produção (PCP).....4
2.1.3 Programação da Produção.....5
2.2 SCHEDULING OU SEQUENCIAMENTO DA PRODUÇÃO 6
2.2.1 Definição.....6
2.2.2 Regras de Sequenciamento.....7
2.2.3 Modelos de Sequenciamento.....8
2.3 MODELO *JOB SHOP*.....9
2.4 MÉTODOS DE RESOLUÇÃO PARA PROBLEMAS *JOB SHOP*.....11
2.4.1 Métodos Exatos.....11
2.4.2 Métodos de Aproximação.....12
2.4.3 Buscas Locais e Meta-Heurísticas.....14
2.5 SISTEMAS DE INFORMAÇÃO 17
2.5.1 Introdução.....17
2.5.2 Engenharia de Processos e Engenharia de Sistemas.....18
Capítulo III: DESCRIÇÃO 20
3.1 O PROCESSO 20
3.2 O *SOFTWARE* "FÁBRICA PCP".....22
3.3 MODELO DE SEQUENCIAMENTO ADOTADO.....26
Capítulo IV: DESENVOLVIMENTO 28
4.1 FORMULAÇÃO DO PROBLEMA..... 28
4.2 MÓDULO DE SEQUENCIAMENTO.....29
4.2.1 Análise e Compreensão do Problema.....29

4.2.2 Especificação do Sistema.....30
4.2.3 Obtenção da Solução do Problema.....34
4.2.4 Funcionalidades e Saídas do Sistema.....34
Capítulo V: CONCLUSÃO.....37
5.1 ANÁLISE DE VIABILIDADE DE IMPLANTAÇÃO.....37
5.2 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....37

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....38

Capítulo I
INTRODUÇÃO

1.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS

Sequenciamento ou *scheduling* são formas de tomada de decisão que possuem um papel crucial nas empresas, tanto de manufatura como de serviços. No atual ambiente competitivo, o efetivo sequenciamento se tornou uma necessidade para sobrevivência no mercado. Companhias devem esforçar-se ao máximo para cumprir as datas firmadas com seus clientes, o fracasso deste comprometimento pode resultar em uma perda significante da imagem da empresa perante os clientes.

O *scheduling* é uma das atividades que compõem o planejamento da produção, nele são levadas em consideração uma série de elementos que disputam vários recursos por um período de tempo, recursos esses que possuem capacidade limitada. Os principais objetivos tratados no problema de *scheduling* podem ser resumidos na otimização de um ou mais objetivos, ou seja, minimizando atrasos de pedidos, tempo de fluxo dos estoques intermediários, tempo de processamento, entre outros.

Neste trabalho é apresentada uma especificação de um módulo de sequenciamento da produção baseado em regras heurísticas para resolver o escalonamento nas células de trabalho de uma empresa que fabrica meias, a fim de se resolver problemas oriundos da falta do módulo.

1.2 OBJETIVOS

O presente trabalho tem como objetivo o planejamento e especificação de um módulo (sequenciamento de produção) do sistema de informação integrado de Planejamento e Controle da Produção existente na malharia objeto de estudo. Este estudo foi desenvolvido para que o módulo fosse planejado e especificado de acordo com as características, necessidades e deficiências da empresa.

1.3 JUSTIFICATIVAS

A escolha do tema foi motivada pela necessidade de um sequenciamento de produção elaborado e não intuitivo, como acontece atualmente na empresa. Aliada a esta necessidade, há o fato de já existir um sistema de Planejamento e Controle da Produção incompleto, ou seja, sem o módulo de Sequenciamento da Produção. Portanto a importância da criação deste módulo para complementar o sistema existente na empresa.

1.4 ESCOPO DO TRABALHO

O estudo envolve pesquisas bibliográficas sobre regras e métodos de resolução de sequenciamento da produção e sistemas de informação, orientações, análises de sistemas de seqüenciamento da produção já existentes no mercado e um estudo da empresa, obtendo assim embasamento para o planejamento do módulo do Sistema de Planejamento e Controle da Produção da Malharia.

1.5 METODOLOGIA

O trabalho iniciou-se com um estudo teórico sobre Sequenciamento da Produção, envolvendo o Modelo *Job Shop,* seus métodos de resolução e sua aplicação computacional, além de *softwares* relacionados ao tema. Em seguida, realizou-se um estudo teórico sobre Sistemas de Informação, abordando aspectos metodológicos relacionados à conexão entre a Engenharia de Processos de negócios (EPN) e a Engenharia de Sistemas, expressa crescentemente em componentes de processo, à construção do sistema, realizado por componentes de *software*. Tais estudos abordam artigos e livros relacionados aos temas já citados.

Paralela à etapa anterior foram coletados dados gerais da empresa, assim como dados específicos ao processo de produção de meias, que são necessários para o planejamento do sistema. Estes dados incluem informações e anseios da empresa, bem como características do atual sistema de planejamento e controle de produção, além da forma de sequenciamento utilizada. Os dados foram coletados pelo próprio autor deste trabalho, já que o mesmo trabalhou na empresa alvo de estudo até meados de junho do ano anterior como supervisor de produção, ou seja, conhecedor de todo o processo produtivo, além de questões estratégicas da empresa.

Em seguida, os dados coletados na etapa anterior são analisados. A análise é fundamentada nas práticas utilizadas pela malharia e os possíveis prejuízos oriundos de tais práticas, sejam eles de ordem financeiros, estruturais, mercadológicos, produtivos, entre outros. Esta análise funcionou como um guia de direcionamento para aplicação das diversas regras de Sequenciamento da Produção já estudadas na primeira etapa, uma vez que a partir disso, é possível avaliar em que situação de sequenciamento cada regra poderá ser utilizada.

Com os dados analisados, foi então planejado o módulo de Sequenciamento da Produção do sistema atual de Planejamento e Controle da Produção da malharia. O Planejamento do Sistema consiste da elaboração de informações que o sistema deverá gerar e, a partir daí definir o que irá alimentá-lo. Além disso, são feitas especificações técnicas necessárias para a criação do sistema.

Após os estudos, análises e o planejamento foi elaborado o Relatório Final de Trabalho de Conclusão de Curso, com todo o conteúdo pertinente ao desenvolvimento, justificativas e conclusões do estudo.

Capítulo II
REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 PLANEJAMENTO, CONTROLE E PROGRAMAÇÃO DA PRODUÇÃO

2.1.1 Sistemas de Produção

Os sistemas de produção consistem em um conjunto de atividades e operações interligadas envolvidas no processo produtivo. É, portanto, a maneira pela qual a empresa se organiza e realiza suas operações de produção, adotando uma interdependência lógica entre as etapas do processo produtivo.

Tradicionalmente, os sistemas de produção podem ser divididos segundo o posicionamento do produto frente às necessidades do mercado. Assim, são classificados como voltados para estoque, quando a empresa produz em antecipação ao recebimento de pedidos dos clientes, e contra pedido, quando um pedido do cliente "dispara" a aquisição de matéria-prima e a autorização para produzir.

Além dessa classificação feita a partir das necessidades do mercado, os sistemas de produção são divididos em três grandes categorias:

- Sistema de produção contínua: caracterizado pela alta padronização dos produtos, inflexibilidade do processo produtivo e grande automatização.
- Sistema de produção intermitente ou repetitivo em lotes: caracterizados pela produção de um volume médio de bens ou serviços padronizados em lotes. Possui relativa flexibilidade que exige uma mão-de-obra mais especializada.
- Sistema de produção por projeto: caracterizados pela não repetitividade, ou seja, cada produto é feito para atender a necessidade de um cliente específico. Portanto são sistemas altamente flexíveis.

É a partir das diferentes formas de classificação dos sistemas produtivos que se entende o nível de complexidade necessário para a execução do planejamento e controle das atividades produtivas.

2.1.2 Planejamento e Controle de Produção (PCP)

Define-se PCP como um meio de obter informações que irão auxiliar o processo produtivo de modo a definir, a longo, médio e curto prazo, os recursos de produção e as medidas necessárias para conciliar o fornecimento com a demanda. Para tanto, é necessário que os recursos de produção estejam disponíveis na quantidade e no momento necessário e no nível de qualidade adequado. Um bom sistema de PCP otimiza o uso de recursos produtivos, proporciona fluidez à produção e auxilia a manter a eficiência em níveis elevados.

Os principais objetivos do PCP são minimizar atrasos e não atendimento de ordens de produção, reduzir estoques, tornarem mínima a ociosidade dos recursos produtivos pela locação eficiente do trabalho e diminuir os *lead-times* de produção.

Os principais sistemas de planejamento e controle da produção são:

- Sistemas de reposição com ponto de pedido;
- Planejamento das necessidades de material (MRP);
- Planejamento dos recursos de manufatura (MRPII), MRPII com sistemas de execução de manufaturas (MES);
- Planejamento dos recursos da empresa (ERP).

De forma semelhante, a literatura relativa ao PCP pode ser dividida em três abordagens dominantes:

- Modelagem matemática (ou Pesquisa Operacional), que envolve a teoria clássica de estoques, planejamento agregado (e programação linear) e programação de operações (teoria de scheduling);
- *Material Requirement Planning* – MRP, seguidos pelos "sucedôneos" MRPII e ERP estão associados ao aprimoramento das técnicas computacionais (tecnologia da informação) e sistematização das atividades de manufatura;
- *Just in time* – JIT, que se refere ao enfoque dado pelos japoneses como uma alternativa para coordenar as atividades da fábrica. Não é um modelo de PCP propriamente dito, mas altera significativamente sua atuação. Envolve a melhoria do sistema físico como uma forma de melhorar o sistema lógico, isto é, se refere à busca da redução de custos operacionais, reduzindo a ineficiência e as perdas de processo. O JIT representa um "desafio" aos pesquisadores, uma vez que o ideal é representado pela busca da redução dos tempos de *setup* e *lead time* e menor lote de produção possível.

O objetivo final do PCP é a organização do suprimento e a movimentação dos recursos humanos, a utilização de máquinas e as atividades relacionadas, de modo a atingir os resultados de produção desejados, em termos de quantidade, qualidade, prazo e lugar.

2.1.3 Programação da Produção

A programação da produção aborda o planejamento de curto prazo. Basicamente, a programação da produção consiste em decidir quais atividades produtivas (ou ordens/instruções de trabalho) detalhadas devem ser realizadas, quando (momento de início ou prioridade na fila) e com quais recursos (matérias-primas, máquinas, operadores, ferramentas, entre outros), para atender à demanda, informada através das decisões do plano mestre de produção (MPS) ou diretamente da carteira de pedidos dos clientes. Este

conjunto de decisões conforme o tipo de sistema produtivo pode ser dos mais complexos dentro da área de administração da produção ou gerenciamento de operações.

O processo da programação da produção tem início após a tomada de decisão quanto à capacidade, nível de estoques e pedidos a atender dentro de uma escala de tempo. A programação da produção depende do tipo de operação e são usados métodos e técnicas distintas em cada tipo de situação (MARTINS & LAUGENI, 2002).

2.2 *SCHEDULING* OU SEQUENCIAMENTO DA PRODUÇÃO

2.2.1 Definição

Quando o trabalho chega, decisões devem ser tomadas sobre a ordem em que as tarefas serão executadas. Essa atividade de programação é denominada sequenciamento e envolve a utilização de recursos limitados em um determinado período de tempo para atendimento às ordens de clientes ou reposição de estoques. As prioridades dadas ao trabalho em uma operação são frequentemente estabelecidas por um conjunto predefinido de regras. Algumas dessas regras são relativamente complexas.

Os elementos a serem processados são chamados de ordens de fabricação ou *jobs* e são compostos de partes elementares chamadas tarefas ou operações

A definição do problema de scheduling é determinar a seqüência em que as ordens de produção em cada uma das *m* máquinas, com seus tempos de início e fim de processamento em cada máquina.

Os principais objetivos tratados no problema de *scheduling* podem ser resumidos no atendimento de prazos ou datas de entrega, na minimização do tempo de fluxo dos estoques intermediários e na maximização da utilização da capacidade disponível, ou mesmo na combinação desses objetivos.

As premissas para o delineamento do problema de *scheduling* são resumidas a seguir:

- As tarefas a serem desenvolvidas são bem definidas e conhecidas;
- Todas as ordens de produção programadas devem ser processadas;
- Os recursos utilizados totalmente especificados;
- A utilização da capacidade produtiva e outros parâmetros de *scheduling* não são afetados por nenhum fator de causa de demora (falta de matéria-prima, mão-de-obra, quebra de máquina, interrupção da seqüência de programação para inclusão de ordens urgentes etc.).

2.2.2 Regras de Sequenciamento

Algumas das principais regras de sequenciamento, de acordo com Tubino (1997) são:

- PEPS – Primeira que Entra Primeira que Sai: os lotes são processados de acordo com sua ordem de chegada no recurso;
- MTP – Menor Tempo de Processamento: os lotes serão processados de acordo com os menores tempos de processamento no recurso;
- MDE – Menor Data de Entrega: os lotes serão processados de acordo com as menores datas de entrega;
- IPI – Índice de Prioridade: os lotes serão processados de acordo com o valor da prioridade atribuída ao cliente ou ao produto;
- ICR – Índice Crítico: os lotes serão processados de acordo com o menor valor do resultado de:

$$\frac{\text{(data de entrega) – (data atual)}}{\text{(tempo de processamento)}}$$

- IFO - Índice de Folga: os lotes serão processados de acordo com o menor valor do resultado de:

$$\frac{\text{(data de entrega) – (}\Sigma\text{ tempo de processamento restante)}}{\text{(número de operações restantes)}}$$

- IFA – Índice de Falta: os lotes serão processados de acordo com o menor valor do resultado de:

$$\frac{\text{Quantidade em estoque}}{\text{Taxa de demanda}}$$

Pode-se usar o PEPS em situações em que a validade do item expira rápido, com o objetivo de reduzir o tempo em espera. Nos casos em que isso não ocorre, usa-se outras regras, como o MTP, que visa aumentar o número de lotes a ser produzido, pois prioriza lotes com menor tempo de processamento.

Na maioria das vezes utiliza-se a combinação de duas ou mais regras. Clientes melhores deverão ter seus produtos com mais urgência, para isso aplica-se o IPI que juntamente com o MDE pode resultar num melhor cumprimento dos prazos de entrega para atingir uma maior satisfação do cliente.

Assim, as possibilidades de procedimentos adotados para se estabelecer a ordenação no seqüenciamento de ordens são inúmeras. Contudo, a escolha de qual é a regra mais apropriada para o seqüenciamento da produção depende dos objetivos e anseios da fábrica.

2.2.3 Modelos de Sequenciamento da Produção

Existem vários modelos para solução de problemas de scheduling, uma vez que tais problemas têm inúmeras causas e combinações. Alguns destes modelos são descritos a seguir:

- *Flow Shop*

Segundo Pinedo (2002, p.15), a definição do modelo de sequenciamento da produção *Flow Shop* é:

Existem *m* máquinas em série. Cada trabalho tem que ser processado em cada uma destas máquinas. Todos os trabalhos têm que seguir o mesmo caminho (ex: todos têm que ser processados primeiro na máquina 1, depois na máquina 2...). Depois de ser concluído em uma máquina, um trabalho é inserido na fila da próxima máquina.

- *Flow Shop* flexível

Pinedo (2002, p.15), define *Flow Shop* Flexível da seguinte forma:

O *Flow Shop* Flexível é uma generalização do *Flow Shop* com máquinas em paralelo. Ao invés de m máquinas em série, existem c centros de trabalho agrupando máquinas idênticas que funcionam em paralelo. Cada trabalho tem que ser processado no centro de trabalho 1, 2 e assim por diante. Um trabalho é processado em uma máquina de um centro de trabalho, mas todas as máquinas deste centro poderiam processá-lo da mesma forma.

- *Open shop*

Segundo Pinedo (2002, p.16), o modelo de sequenciamento Open shop é definido:

Existem m máquinas. Cada *job* (trabalho) tem que ser processado novamente em cada uma destas m máquinas. Mesmo assim, alguns destes tempos de processamento podem ser zero. Não existe restrição com relação ao caminho de cada *job* através das máquinas. A seqüência permite que o caminho seja determinado por cada job e diferentes *jobs* podem ter diferentes caminhos.

- *Job Shop*

Para Pinedo, a definição de *Job Shop* é:

Em um *job shop* com m máquinas, cada *job* tem uma rota pré-determinada para seguir.

No problema de *job shop* cada trabalho somente é escalonado uma única vez e para qualquer máquina, também cada máquina pode processar um trabalho por vez, sendo que nenhuma máquina pode ser liberada antes de finalizada a operação e o total de máquinas de cada tipo é fixo e igual a um.

- *Job Shop* Flexível

Pinedo (2002, p15) relata que:

O *Job Shop* Flexível é uma generalização do *Job Shop* com máquinas em paralelo. Ao invés de *m* máquinas, existem *c* centros de trabalho agrupando máquinas idênticas que funcionam em paralelo. Cada trabalho tem sua própria rota a seguir através da fábrica; um trabalho é processado em uma máquina de um centro de trabalho, mas todas as máquinas deste centro poderiam processá-lo da mesma forma.

2.3 MODELO *JOB SHOP*

Pesquisa em teoria de *scheduling* evoluiu durante os últimos 40 anos, rendendo significantes descobertas, técnicas e métodos envolvendo desde rudes técnicas de despacho até algoritmos de *branch and bound* altamente sofisticados. Métodos têm sido formulados em um conjunto diversificado de pesquisadores, envolvendo diversas áreas de conhecimento, desde administração até pesquisa operacional e técnicas de produção. Atualmente, técnicas envolvendo redes neurais, computação evolutiva têm sido usadas para atacar o problema, o que nos dá uma dimensão da natureza multidisciplinar deste campo.

Esses problemas encontrados no sequenciamento da produção são classificados em diversas categorias, dentre os quais se destaca o problema de *job shop*, onde *n jobs* são processadas por *m* máquinas ou estações de trabalho. É neste modelo, chamado de *job shop* flexível (generalização do *job shop*) que se enquadra a empresa objeto de estudo.

Esse modelo é um dos que mais se assemelha a problemas práticos de empresas de manufatura, despacho, distribuição de recursos para tarefas específicas, etc., servindo também de base para proposição de modelos mais genéricos, como distribuição de recursos a tarefas de acordo com prioridades (estáticas ou dinâmicas), utilização de recursos simultaneamente por tarefas distintas, etc.

Uma vez que as seqüências de máquinas de cada *job* são fixas, o problema a ser resolvido consiste em determinar as seqüências dos *jobs* em cada máquina, de forma que o tempo de execução transcorrido, desde o início do primeiro *job* até o término do último, seja mínimo.

De acordo com Anant Singh Jain e Sheik Meeran (1998) os problemas de scheduling job shop consistem de um conjunto finito de n jobs J de $\{J_i\}_{i=1}^{n}$ a serem processados em um conjunto M de m máquinas $\{\mathrm{M_k}\}_{k=1}^{m}$. Cada trabalho ji pode ser processado em todas as máquinas e consiste de uma lista de mi operações $O_{i1}, O_{i2}, \ldots, O_{im_i}$, agendadas em uma dada ordem pré-estabelecida, requisito este chamado de restrição de precedência. Existem N operações no total, $N = \sum_{i=1}^{n} m_i$. Oik é a operação de trabalho ji que deve ser processada na máquina M_k para um período de tempo de processo ininterrupto τ_{ik} e nenhuma

operação pode ser interrompida e então completada mais tarde. Cada job tem seu padrão individual de fluxo através das máquinas que são independentes de outros trabalhos. Além do mais, o problema é baseado em capacity constraints or disjunctive constraints, ou seja, se é estipulado que cada máquina pode processar somente uma operação e cada operação pode ser processada por somente uma máquina num dado momento. Se o tempo de conclusão de ji na M_k é C_{ik}, então a duração de todas as operações para todos os jobs são completadas e é chamada pelo makespan $C_{\max}$. Na variável de otimização do problema job shop, o objetivo do programador é determinar o tempo de começo de cada operação, $t_{ik} \geq 0$, a fim de minimizar o makespan enquanto satisfaça todas as precedências e restrições de capacidade. Isto é, o objetivo pode ser expresso ao determinar $C^*_{\max}$, onde:

$$C^*_{\max} = \min(C_{\max}) = \min(\max(t_{ik} + \tau_{ik}) : \forall ji \in J, Mk \in \mathrm{M})$$

Note que as dimensões de cada problema *job shop* é especificado com *n x m* e *N* e é freqüentemente assumido ser *nm*, sendo que $m_i = m$ para cada trabalho $ji \in J$ e que cada trabalho tem que ser processado exatamente uma vez em cada máquina. Nos casos mais gerais de problemas *job shop*, repetições de máquinas (ou ausência de máquina) são permitidas em uma dada ordem de trabalho $ji \in J$, e assim m_i pode ser diferente de m.

No problema de *job shop* clássico temos também as seguintes restrições: cada trabalho somente é escalonado uma única vez; cada trabalho pode ser escalonado para qualquer máquina; cada máquina pode processar um trabalho por vez; nenhuma máquina pode ser liberada antes de finalizada a operação (preempção não permitida); e o total de máquinas de cada tipo é fixo e igual a um.

Das restrições acima temos para o problema clássico de *job shop* 3x3 que $\mathrm{n_j} = |\mathrm{M}|$ para todo j, representado na tabela 2.1 a seguir:

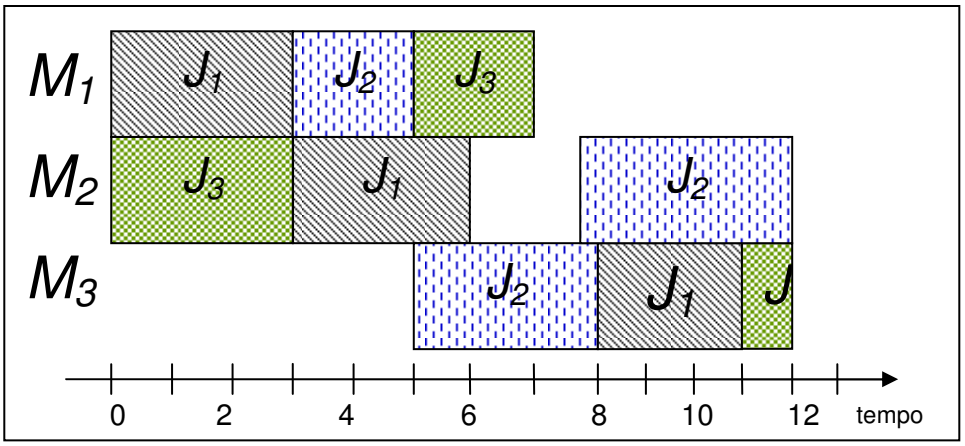
Tabela 2.1: Um *job shop* clássico 3x3

Trabalho (Job)	Operações a serem processadas (tempo)		
1	1(3)	2(3)	3(3)
2	1(2)	3(3)	2(4)
3	2(3)	1(2)	3(1)

.

As soluções podem ser representadas por um gráfico de *Gantt* como na figura 2.1:

Figura 2.1 – Escalonamento para o problema *job shop* 3x3



2.4 MÉTODOS DE RESOLUÇÃO PARA PROBLEMAS *JOB SHOP*

Vários são os possíveis métodos de resolução para o problema *job shop*, desde rudes técnicas de despacho até algoritmos de *branch and bound* altamente sofisticados. Abaixo são apresentados, de forma sucinta, os métodos mais relevantes e, posteriormente definido o "Método base" para o desenvolvimento do módulo que será especificado neste estudo.

2.4.1 Métodos exatos

Algoritmos para a resolução dos problemas *job shop* têm tempo computacional que cresce exponencialmente em relação ao crescimento dos dados de entrada. Assim resolver problemas um pouco maiores pode inviabilizar uma abordagem computacional, já que há um enorme número de combinações possíveis de soluções viáveis.

Estes algoritmos escolhem a solução ótima através de regras simples aplicadas sobre o conjunto que contem todas as soluções.

Há algoritmos que garantem uma solução ótima com uma porcentagem de erro. Esses algoritmos têm seu tempo computacional variando polinomialmente com o tamanho do problema.

2.4.1.1 Algoritmo de Johnson

Johnson (1954) desenvolveu um algoritmo exato para resolver o problema em que dois produtos devem ser processados por duas máquinas (2x2).

Vários teoremas e corolários dão suporte a este algoritmo. A idéia central do algoritmo é iniciar a execução da tarefa com menor tempo de processamento na primeira máquina, permitindo que seu processamento na segunda máquina comece o mais cedo

possível e terminar executando a tarefa com menor tempo de processamento na segunda máquina minimizando o tempo em que a primeira máquina fica ociosa.

Este algoritmo impulsionou a pesquisa nesta área e abriu caminho para outras abordagens como as de Akers (1956) e Jackson (1956) que também resolvem problemas específicos de maneira exata.

No entanto, problemas 3x3, nx2 (com não mais que três operações por produto) e nx3 (com não mais que 2 operações por produto) são inviáveis de serem resolvidos por este algoritmo devido ao elevado tempo de processamento para se encontrar a solução ótima.

2.4.1.2 Branch and Bound

As técnicas de *Branch and Bound* usam uma estrutura dinâmica de árvore em que nós folha representam as várias soluções possíveis. A busca começa de um nó raiz que é expandido aumentando a amplitude da busca. O próximo nó a ser expandido depende da técnica usada.

Atribuindo valores aos nós é possível escolher entre o mais apropriado para a expansão. Há técnicas em que apenas o valor do custo é atribuído ao nó. O nó com menor custo é escolhido para ser expandido. Outras ainda atribuem um valor de custo do nó e uma estimativa de custo para atingir um nó folha. O melhor nó é escolhido para expansão.

Algumas técnicas buscam todo o conjunto das soluções procurando a solução ótima, outras têm uma busca otimizada, não buscam por toda a árvore nem expandem todos os nós. Isso diminui tanto o tempo total de execução quanto à quantidade de memória dinâmica consumida.

Várias variantes são encontradas neste tipo de algoritmo. Sempre que houver uma solução ótima ela será encontrada já que se trata de um algoritmo exato.

2.4.2 Métodos de aproximação

Os métodos de aproximação tentam diminuir o esforço computacional exigido pelo problema *de job shop*, para isso sacrificam a otimalidade da solução. Estes métodos garantem uma solução sub-ótima, muito próxima da ótima, e que por isso pode substituí-la.

Apesar de não garantirem a solução ótima, são métodos bem sucedidos para problemas combinatoriais como é o caso do *job shop*.

2.4.2.1 Regras de priorização (*priority dispatch rules*)

O método atribui às soluções uma prioridade. Fácil de implementar e com reduzida solicitação de recursos computacionais, se tornou bastante popular (BAKER 1974, FRENCH 1982, MORTON e PENTICO 1993).

Em cada passo as seqüências capazes de serem expandidas são classificadas através de sua prioridade. A mais prioritária é expandida. Vários passos são necessários para que uma solução válida seja alcançada.

O estudo mais conhecido e abrangente nesta área, (PANWALKER e ISKANDER 1977), relacionou e analisou 113 métodos diferentes.

Exemplos de regras que podem ser usadas para priorizar soluções:

- *First Come First Serve* (FCFS): Fila, primeira tarefa a chegar é a primeira a ser escalonada
- *Shortest Processing* Time (SPT): A tarefa com o menor tempo de execução é tem maior prioridade.
- Shortest Weighted Processing Time (WSPT): A tarefa com menor peso tem maior prioridade (o peso é atribuído à tarefa conforme seu tempo ocioso ou seu custo).
- Earliest Due Date (EDD): A tarefa com tempo de expiração mais próximo tem maior prioridade

O estudo de Panwalker e Iskander mostrou que regras individualmente não têm um bom desempenho. É mais comum que conjuntos de regras sejam aplicadas concomitantemente para um melhor desempenho.

É bom lembrar que, ao contrário das técnicas de *branch and bound*, as técnicas de priorização elegem apenas uma operação para fazer parte da seqüência que está sendo criada. As técnicas *branch and bound* adicionam todas as possibilidades de operações para testar a posteriori qual será escolhida para expansão.

2.4.2.2 Heurísticas baseadas em pontos críticos (*bottleneck based*)

O algoritmo de *Shifting bottleneck* (adiamento de ponto crítico) proposto por Adams (1988) é uma heurística poderosa para a resolução dos problemas *de job shop*. Este método é resolvido para cada máquina ainda não seqüenciada e o resultado é usado para encontrar um ponto crítico na máquina de maior *makespan*. Toda vez que uma nova máquina é seqüenciada toda a seqüência anterior deve ser submetida novamente à otimização.

A separação do grafo em arcos conexos e desconexos visa reduzir o problema num subproblema de mais fácil resolução.

Vários outros trabalhos são encontrados utilizando e modificando a estrutura do algoritmo original, uma delas é a de Applegate e Cook (1991) em que a última máquina só é escolhida após percorrer novamente as demais.

Técnicas híbridas também foram concebidas usando os princípios do *bottleneck* como a proposta por Balas e Vazacopoulos (1998) que usa uma busca em profundidade local com profundidade controlada.

2.4.2.3 Contraint Satisfaction

As técnicas de limitação da satisfação (constrait satisfaction) reduzem o tamanho do espaço de busca aplicando regras restritivas no momento em que variáveis são selecionadas para expansão.

Os primeiros trabalhos baseados em sistemas de escalonamento incluem um escalonador de trem proposto por Fukumori (1980). O trabalho mais recente, Fox (1987) descreve e implementa uma heurística de busca com dirigida por limitação da satisfação. A limitação foi usada para guiar e analisar o processo de escalonamento.

Várias outras modificações são propostas e realizadas. Um estudo computacional foi realizado recentemente por Aarts e Nuijten (1995) usando esta técnica com algumas regras diferenciadas.

2.4.2.3 Redes Neurais

As redes neurais são organizadas em uma estrutura baseada na estrutura das células nervosas do cérebro. Nesta técnica o processamento da informação é visto como um fluxo maciço sobre as interconexões entre os neurônios com um forte processamento paralelo.

Características com sua simplicidade e seu grande poder com computação distribuída tornaram-na muito popular possibilitando várias aplicações reais (ZHANG and HUANG 1995). Um estudo descrevendo algumas das arquiteturas foi compilado por Cheung (1994)

Uma aplicação usando redes neurais com relaxação de Lagrange foi proposta por Luh, Zhao e Thakur (1999).

2.4.3 Buscas Locais e Meta-heurísticas

Os algoritmos exatos aplicados a problemas combinatoriais como é o caso do *job shop* são inviáveis computacionalmente, já que demandam muito tempo de processamento até atingirem uma solução ótima, sendo que, caso o problema seja maior que 3 variáveis atingir uma solução é extremamente difícil.

As heurísticas propostas acima, quando usadas isoladamente, também não apresentam bons resultados, já que não exploram todo o espaço de busca e não procuram por uma solução sub-ótima.

Sendo assim um meio-termo seria bem vindo. Uma forma de juntar o melhor em cada técnica.

As buscas locais refinam de forma exata uma solução encontrada por uma heurística. A heurística explora o espaço de busca procurando regiões promissoras, a busca local explora essas regiões procurando pontos ótimos.

Meta-heurísticas são técnicas que, quando aplicadas a métodos de busca local, permitem a superação da otimalidade local com vistas à obtenção de soluções de qualidade superior.

2.4.3.1 *Iterative Improvement*

Trata-se de um exemplo de algoritmo *threshold* que consistem em uma busca iterativa por melhores resultados em uma vizinhança contando com um erro.

Neste caso a vizinhança é limitada aceitando apenas um melhor resultado (erro nulo). O algoritmo muda de solução apenas se alguma solução vizinha for maior ou igual a atual.

A Arts (1994) aplicou este algoritmo com variadas inicializações. O critério de parada do algoritmo é seu tempo de execução. Um estudo comparativo foi feito por Dorn, Girsch,Skele,Slany (1996) analisando várias técnicas e seus desempenhos.

2.4.3.2 Otimização do passo (*large step optimisation*)

Este algoritmo desenvolvido por Martin, Otto e Felten (1989, 1992) é constituído por duas fases: na primeira um passo largo é otimizado e na segunda o passo otimizado é mais estreito. Esta otimização é feita visando evitar soluções locais.

2.4.3.3 *Simulated annealing*

O algoritmo procura iterativamente o próximo candidato a ponto de mínimo na vizinhança do candidato corrente, agindo de acordo com a diferença entre os valores da função-objetivo. Evita mínimos locais empregando uma busca aleatória que, por vezes, aceita vizinhos que podem ter valores maiores para a função-objetivo. Ou seja, em algumas iterações, o algoritmo tende a maximizar a função-objetivo em vez de minimizá-la.

Entretanto, uma característica importante desse algoritmo é que a probabilidade de se aceitar um vizinho de maior energia decresce com o tempo, o que se implementa com um parâmetro, a temperatura, que decresce a cada iteração. Por fim, em qualquer temperatura, dados dois vizinhos de maior função-objetivo que o candidato a mínimo corrente, A e B, função-objetivo (A) > função-objetivo(B), a probabilidade de aceitação de A será menor que a de B.

Van Laarhooven et al. (1992) construiu um método genérico para o *simulated annealing* controlado pelo tamanho da vizinhança. Este método foi considerado robusto e de fácil implementação. Outra importante definição de vizinhança foi proposta por Matsuo et al. (1988). Recentemente Kolonko (1998) indicou que esse algoritmo usado para job shop não converge e que a vizinhança padrão não é simétrica. Baseado nesses resultados ele apresentou um método híbrido consistindo na fusão do *simulated annealing* com um algoritmo genético.

2.4.3.4 Busca Tabu

Os estudos de Busca Tabu tiveram início na década de 80, com os trabalhos de F. Glover e P. Hansen. A Busca Tabu consiste basicamente em uma técnica de melhoria de solução, que considera estruturas que permitam explorar eficientemente o histórico de todo o processo de busca. Ela tem como característica básica o fato de ser um método genérico que pode usar um tipo de heurística a cada passo e tendo como objetivo, escapar das armadilhas dos ótimos locais ainda distantes de um ótimo global.

O algoritmo evita movimentos na vizinhança que parece conter soluções que duplicariam acontecimentos anteriores. Porém um grau de esquecimento estratégico é atribuído a esse algoritmo através de uma memória capaz de armazenar os últimos movimentos. Esta memória tem seu tamanho variável de acordo com o desejo de se explorar o espaço de busca.

Estratégias intermediárias com memória média são baseadas em modificar as regras de escolha para diminuir escolha de soluções historicamente boas em regiões atrativas e intensificar a busca em outras regiões. Já memória mais longa diversifica a busca em áreas ainda não exploradas.

A técnica mais simples apresentada (LAGUNA 1991, 1993) cria uma busca tabu em árvore baseada em definições simples de movimento. Em 1993, Laguna e Glover analisaram seus dois trabalhos e indicaram a inclusão da transferência de *job* incrementando a troca de *jobs*, aumentando assim a qualidade da solução e reduzindo o tempo de processamento e, por isso, permitiu solução de problemas maiores. Várias modificações e adaptações podem ser encontradas, por exemplo, alterando o tamanho da memória de busca (HARA 1995), (BARNES e CHAMBERS 1995).

Taillard (1994) fez grande contribuição incorporando a estratégia que acelera a busca prevenindo que haja necessidade de recalcular as condições de contorno para todas as operações para determinar o custo do movimento. Porém esta estratégia somente é interessante para *jobs* semiativos no escalonamento e há incapacidade de achar um *makespan* exato para o movimento, portanto esta estratégia pode ser apenas considerada mais rápida.

Muitos outros trabalhos podem ser encontrados utilizando e comparando resultados da busca tabu. Trata-se de uma técnica muito boa para ser usada concomitantemente com um método heurístico aumentando seu desempenho.

2.4.3.5 *Greedy Randomised Adaptive Search Procedure* (GRASP)

GRASP consiste em um método iterativo probabilístico, onde a cada iteração é obtida uma solução do problema em estudo. Cada iteração contém duas fases, uma construtiva, que determina a solução que será submetida à busca local, outra iterativa que tenta obter alguma melhoria na solução corrente.

Na primeira fase (construção) uma solução viável é construída elemento por elemento, os candidatos são ordenados, os melhores são adicionados a uma lista. A próxima iteração é baseada em um elemento da lista de melhores candidatos, daí o adjetivo guloso.

O algoritmo ainda possui uma componente probabilística levando em consideração a escolha aleatória na lista de candidatos (em um guloso simples seria selecionado o primeiro elemento da lista). Esta técnica de escolha permite que diferentes soluções sejam geradas a cada iteração GRASP.

Resende (1997) apresentou uma aplicação para o GRASP em *job shop* que consiste nas operações que quando seqüenciadas próximas devem resultar um resultado menor.

2.5 SISTEMAS DE INFORMAÇÃO

2.5.1 Introdução

O sistema de informação faz parte do sistema de atividades humanas que, por sua vez, é interpretado de acordo com o ponto de vista do analista. Este ponto de vista pode variar de indivíduo para indivíduo. Por conta disso, as decisões relacionadas ao sistema de informação podem ser diferentes, mesmo que para os mesmos problemas. Os sistemas de informação também refletem o modelo organizacional da empresa. A forma como o modelo organizacional é definido reflete diretamente na identificação dos requisitos informacionais de um sistema de informação.

Para qualquer alternativa de desenvolvimento de sistemas, a definição do projeto – também chamado de definição do problema ou dos requisitos iniciais - é de fundamental importância para o sucesso do projeto. É justamente neste passo que a participação efetiva dos especialistas empresariais torna-se imprescindível. Se os requisitos não forem devidamente levantados, ou erroneamente interpretados pelo analista, há grande possibilidade do sistema de informação resultante não ser aceito ou utilizado porque ele não suportará as reais necessidades de informações de seus usuários, além de implicar em maiores custos devido aos esforços para sua correção.

Apesar do levantamento de requisitos ser um passo comum entre as alternativas de desenvolvimento de um sistema, não existe uma metodologia única para a definição dos mesmos. Características da organização, da aplicação, ou de ambos, devem determinar o método mais apropriado a ser utilizado.

2.5.2 Engenharia de Processos e Engenharia de Sistemas

Desde suas primeiras versões, as ferramentas de modelagem que apóiam a Engenharia de Processos de Negócios (EPN), de uma forma ou de outra, buscam a partir da visão do negócio alcançar a efetiva implementação do processo, chegando à construção de sistemas de informação. Ao passo que a EPN e as ferramentas de modelagem de processos foram eficientes em levantar, modelar e redesenhar processos, a implementação efetiva de sistemas de informação, diretamente a partir dos processos, tem apresentado limitações.

A EPN procura conceber o sistema a partir do entendimento e concepção do negócio. Engenharia de Sistemas procura entender o negócio para aprimorar a análise de requisitos, preliminar à especificação do projeto. Há, hoje, desenvolvimento das capacidades das ferramentas de modelagem de processos e o desenvolvimento da tecnologia de Engenharia de Sistemas. Uma metodologia que vise a construção de uma Arquitetura Integrada de Sistemas (AIS) deve considerar o entendimento e a (re) construção de processos a partir da EPN. Antes, deve estar sintonizada com os objetivos do negócio, com a estratégia da organização. Deve estar atrelada à estrutura de indicadores que deverão estar associados a esta estratégia, para monitorar o desenvolvimento dela, até o nível de processos.

Várias são as vantagens da utilização de ferramentas de apoio à modelagem de processos. No caso particular da modelagem de processos com vistas a uma AIS componentizada, destacam-se aquelas ferramentas com capacidade de modelar dados através de UML que é uma linguagem de modelagem de propósito geral usada para especificar, visualizar, construir e documentar os artefatos de um sistema de *software*. Ela captura decisões e entendimentos sobre sistemas que devem ser construídos. É usada para entender, desenhar, pesquisar, configurar, manter e controlar a informação sobre certo sistema.

Uma ferramenta de modelagem deverá auxiliar em vários aspectos a construção de uma AIS:

- Formalização e padronização da modelagem de processos;
- Armazenamento de representações reutilizáveis de processos;
- Apoio à melhoria dos processos e do desenvolvimento de sistemas de suporte à operação;

- Maior facilidade para o gerenciamento dos processos;
- Aceleração da capacidade de desenvolvimento e de adequação dos sistemas que suportam os produtos e serviços;
- Aumento da flexibilidade frente às variações da demanda;
- Melhoria das interfaces processuais.

As diversas categorias de sistemas (*Enterprise Resource Planning* – ERP; *Customer Relationship Management* – CRM, etc.) que compõem uma AIS abrangem, apóiam ou viabilizam, cada qual com sua finalidade, com suas funções, a grande maioria dos fluxos de informação (que percorrem os processos) que permeiam uma organização e as cadeias onde as organizações operam. Cabe, portanto, avaliar como a crescente componentização de sistemas, pensada processualmente, impactará estes sistemas componentes de uma AIS.

CAPÍTULO III
DESCRIÇÃO

3.1 O PROCESSO

A empresa objeto de estudo é uma malharia especializada na produção de meias. Além de produtos manufaturados com a própria marca, a malharia presta serviços para grandes magazines e grifes com marca própria. A produção mensal da empresa gira em torno de 40.000 dúzias de meias. A maior parte da produção é puxada pela demanda que faz seus pedidos por encomenda.

Tanto o processo de fabricação dos produtos da própria marca quanto o de modelos personalizados inicia-se com o pedido do cliente. O Departamento de vendas que seleciona os pedidos a serem processados primeiro, de acordo com critérios necessários e específicos para cada situação. Estes critérios podem ser preços dos pedidos, tipo de cliente, prazo de entrega do pedido, matéria prima disponível entre outras.

Os produtos são vendidos em pacotes de meias, chamados de kits, devidamente encaixotados para o transporte até o cliente, realizados por uma única empresa de transportes. Os processos de fabricação destes produtos variam com as características de cada um, porém podem ser resumidos em: tecelagem, acabamento e expedição. Além disso, alguns produtos são tecidos com fio cru (sem tingimento) e são tingidos depois de deixarem a tecelagem, portanto para estes considera-se ainda a existência de mais uma etapa: tingimento. Porém, a maioria das meias é fabricada com fios previamente tingidos e dispensam tingimento após a tecelagem.

Na tecelagem, o fio é transformado em meia, porém o pé ainda está aberto. No acabamento, o pé de meia é fechado, virado para o lado certo e passado. Logo após pares de meias são casados e juntados em pares conforme a exigência do tipo de kit.

O setor de tecelagem trabalha todos os dias 24 horas revezando-se em quatro turnos. Já o setor de acabamento e expedição trabalha de segunda a sexta 9 horas por dia em um único turno.

A fábrica tem seus processos de produção flexíveis principalmente porque nem todos os produtos oferecidos pela empresa são fabricados no mesmo momento. Ocorre um rodízio de tipo, cores e tamanhos nas máquinas da tecelagem de acordo com a exigência da demanda.

Na instalação da empresa são realizados praticamente todos os processos de fabricação de seus produtos desde a tecelagem até a expedição. No entanto, alguns desses processos são terceirizados, por exemplo, a desfiação e fechação de meias sociais.

O processo de tecelagem utiliza teares mecânicos circulares cuja tecnologia varia de acordo com o tipo de meia. Para meias sociais de poliamida são usadas máquinas de tecer

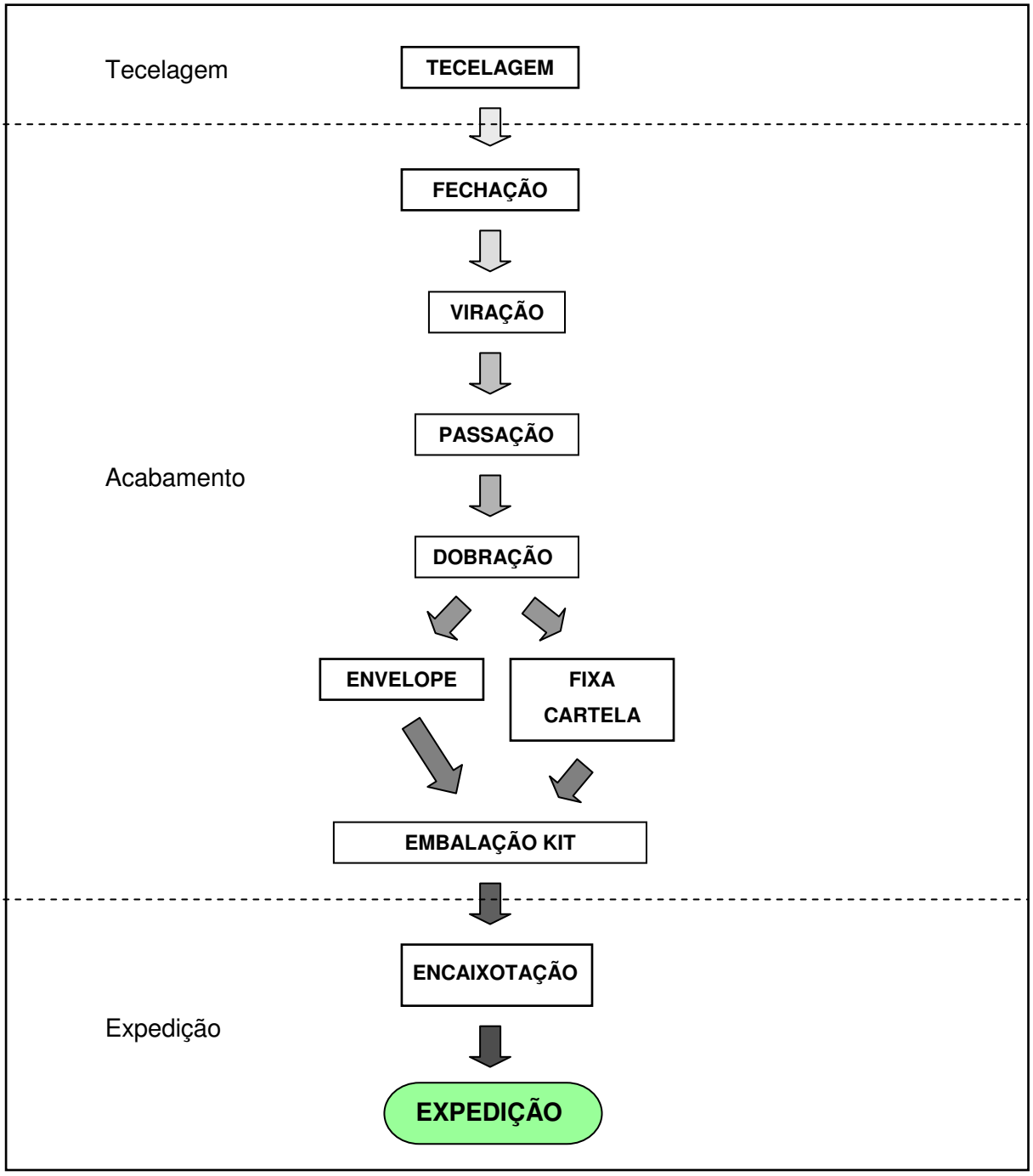
antigas que produzem meias ligadas umas às outras em um longo cano que depois é desfiado para que as meias sejam devidamente separadas. No caso das meias sociais de algodão, uma tecnologia mais moderna é usada para produzir as meias uma a uma com o fio de algodão. Os outros tipos são confeccionados com máquinas eletrônicas que possibilitam a tecelagem da meia de forma variada de acordo com programas de comando numérico.

O tingimento é necessário nas meias sociais de poliamida. As atividades deste processo são: banho com corantes, aplicação de amaciante, centrifugação e secagem.

No processo de acabamento as meias são agrupadas para formar os kits e devidamente embaladas. Assim, as atividades do acabamento variam de acordo com o tipo da meia. No caso das meias sociais de poliamida, os canos de meias são desfiados (desfiação) para que estas sejam separadas, depois o bico de cada uma é costurado (fechação), processo este terceirizado como dito anteriormente. Logo após a meia é tingida (tingimento) e em seguida formas quentes são aplicadas para passar a meia (passação) e então a meia é embalada. Para as outras meias, não existe a atividade desfiação, assim logo depois que são tecidas, elas são costuradas, viradas e passadas para serem dobradas e depois embaladas, revolvadas ou envelopadas (depende do tipo de kit pedido).

Na expedição os kits são devidamente alocados em caixas de papelão e endereçados para o transporte (serviço terceirizado). A seguir, na figura 3.1, o fluxograma básico do processo:

Figura 3.1 – Fluxograma Básico do Processo

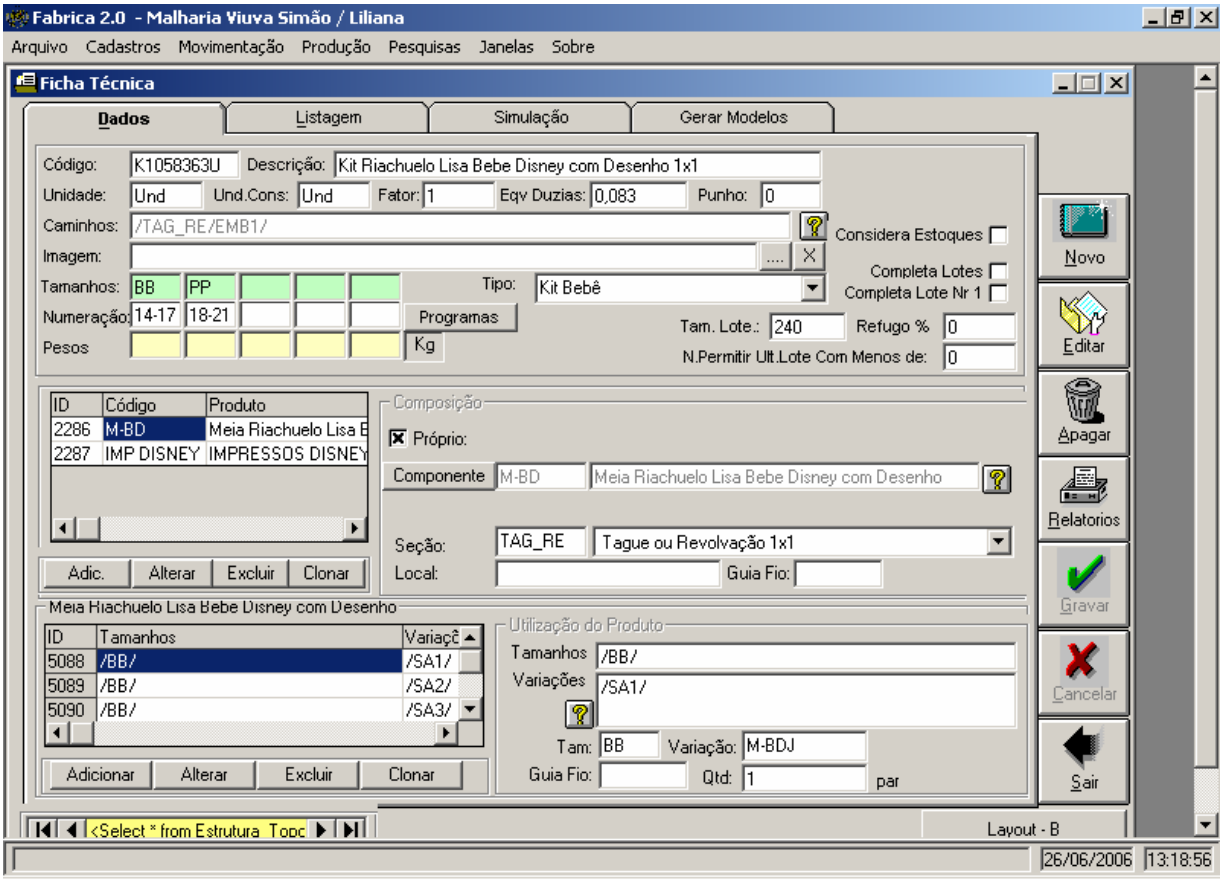


3.2 O *SOFTWARE* "FÁBRICA PCP"

O "Fábrica PCP" foi desenvolvido por um programador contratado por terceirização, que era responsável pelo desenvolvimento do sistema de Planejamento e controle da produção a partir das necessidades identificadas pelos profissionais responsáveis pela produção da Malharia. Neste *software* são cadastrados todos os produtos e suas composições que são fabricados na fábrica, os setores por que passam estes produtos,

assim como os funcionários responsáveis por cada operação do setor. A figura 3.2 mostra a tela de cadastro de produtos do *software*:

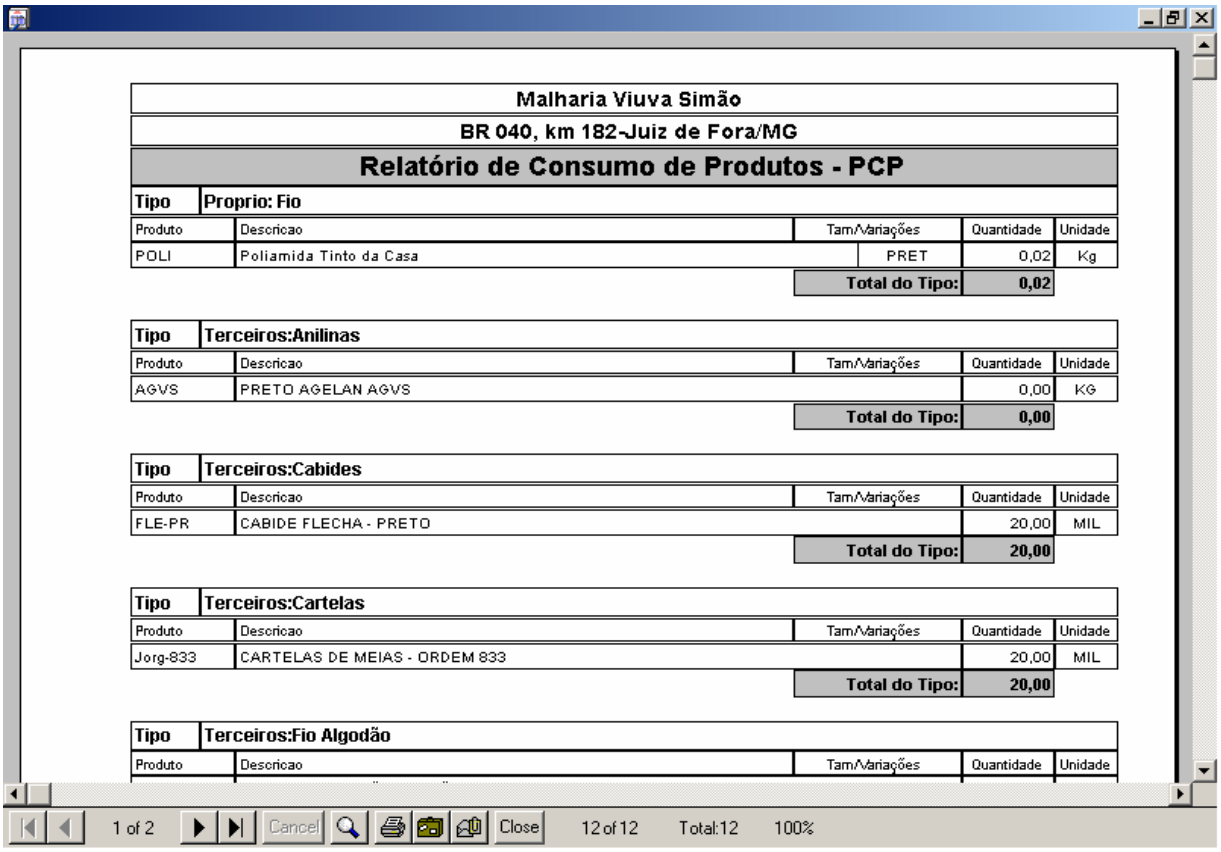
Figura 3.2 – Tela de cadastro de produtos



Fonte: *Software* "Fábrica PCP" de propriedade da Malharia

Também são gerados relatórios de qualidade e produção, assim como relatórios de consumo de matéria prima por tipo de produto, por pedido, por produtos seqüenciados e outras diversas estratificações. Toda a produção é inserida no *software*, a fim de que se tenha o controle de produtividade, estoque e qualidade dos produtos produzidos. A seguir, na figura 3.3, esta a tela do relatório de consumo gerado pelo programa:

Figura 3.3 – Tela de Relatório de Consumo



Malharia Viuva Simão

BR 040, km 182-Juiz de Fora/MG

Relatório de Consumo de Produtos - PCP

Tipo	Proprio: Fio				
Produto	Descricao		Tam/Variações	Quantidade	Unidade
POLI	Poliamida Tinto da Casa		PRET	0,02	Kg
			Total do Tipo:	0,02	

Tipo	Terceiros:Anilinas			
Produto	Descricao	Tam/Variações	Quantidade	Unidade
AGVS	PRETO AGELAN AGVS		0,00	KG
		Total do Tipo:	0,00	

Tipo	Terceiros:Cabides			
Produto	Descricao	Tam/Variações	Quantidade	Unidade
FLE-PR	CABIDE FLECHA - PRETO		20,00	MIL
		Total do Tipo:	20,00	

Tipo	Terceiros:Cartelas			
Produto	Descricao	Tam/Variações	Quantidade	Unidade
Jorg-833	CARTELAS DE MEIAS - ORDEM 833		20,00	MIL
		Total do Tipo:	20,00	

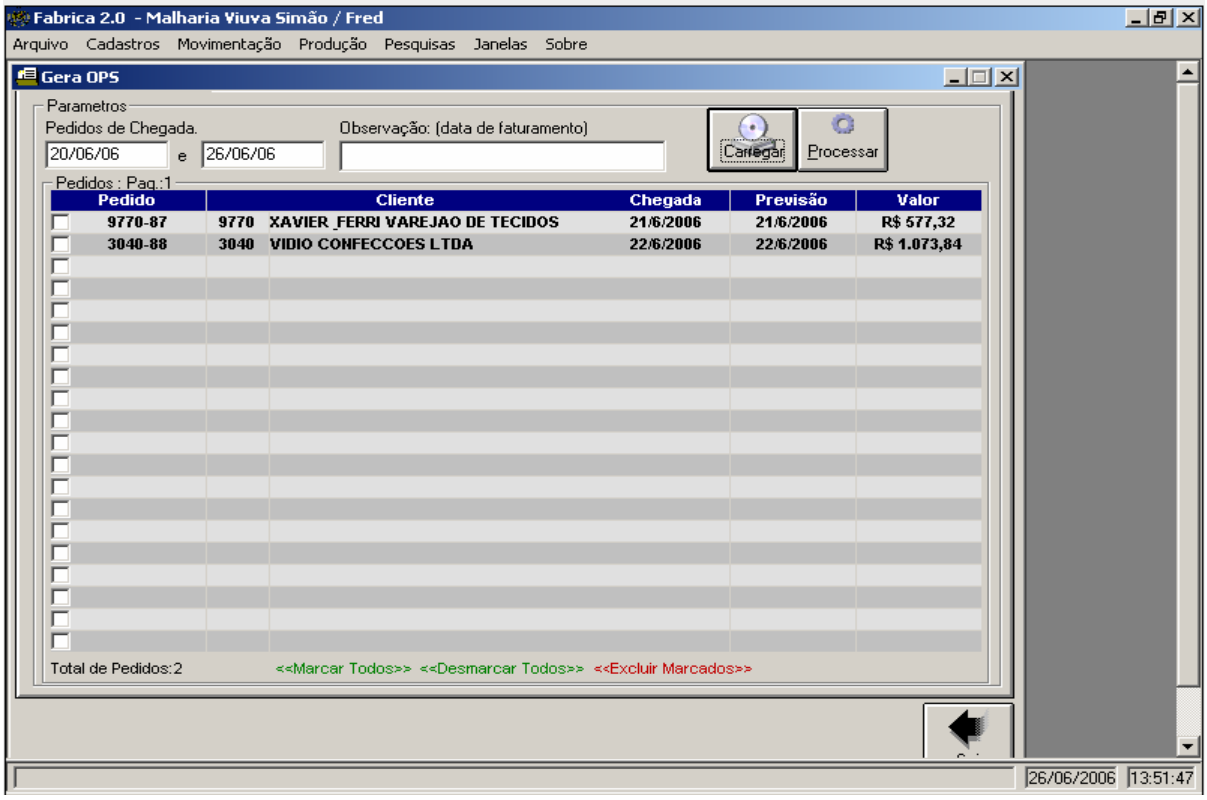
Tipo	Terceiros:Fio Algodão			
Produto	Descricao	Tam/Variações	Quantidade	Unidade

Fonte: *Software* “Fábrica PCP” de propriedade da Malharia

O programa de Planejamento e Controle da produção (“Fábrica PCP”) está atrelado ao *software* de cadastro de pedidos utilizado pelo departamento de compras. No “Fábrica PCP” aparecem os pedidos faturados de acordo com a seleção de datas existentes de pedidos que contenha meias de marca própria ou, com a seleção de códigos de pedidos que contenha meias de grifes. A partir disso os pedidos são selecionados e se gera as ordens de produção que compõem os pedidos. Essas ordens de produção possuem o conteúdo necessário para que determinado produto seja fabricado (matéria prima), assim como o lote de fabricação, funcionando similarmente como um Sistema *Kanban.*

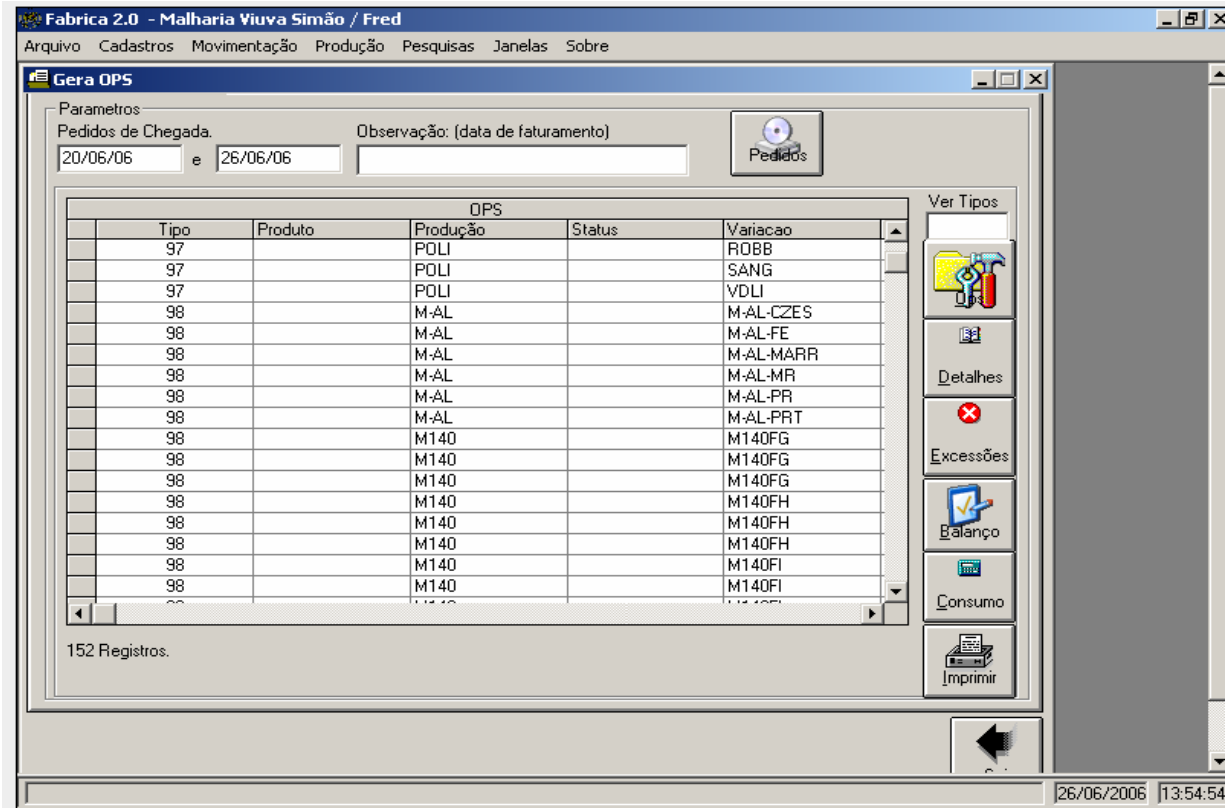
A seguir nas figuras 3.4 e 3.5 estão, respectivamente, as telas de seleção de pedidos e de ordens de produção geradas:

Figura 3.4 – Tela de Seleção de pedidos



Fonte: *Software* "Fábrica PCP" de propriedade da Malharia

Figura 3.5 – Tela de ordens de produção geradas



Fonte: *Software* "Fábrica PCP" de propriedade da Malharia

Este *software* pode ser associado a um Sistema MRP só que com o módulo de estoque incompleto devido à impossibilidade de aplicação até o momento, mas que está sendo estudada uma reformulação do mesmo que seja adequada à realidade da empresa.

Portanto o módulo de sequenciamento da produção deverá estar atrelado ao programa de PCP existente na empresa e utilizará todos os dados e recursos necessários que são fornecidos pelo mesmo a fim de complementá-lo.

3.3 MODELO DE SEQUENCIAMENTO ADOTADO

O sequenciamento adotado nesta indústria se baseia nas operações envolvidas na produção de Kits de meias com as respectivas células de trabalho. A tabela 3.1 descreve as operações envolvidas com cada célula de trabalho de uma forma simplificada.

Tabela 3.1 – Operações envolvidas com cada centro de trabalho

OPERAÇÕES	CÉLULAS DE TRABALHO
TECER	• Tecelagem de Meia Lisa • Tecelagem de Meia Bebê • Tecelagem de Meia Atoalhada
FECHAR	• Overloques • Remalhadeiras
VIRAR	• Viração robô • Viração manual
PASSAR	• Passação máquina • Passação bancada
DOBRAR	• Dobração
FIXAR CARTELA	• Tagueação • Revolvação
ENVELOPAR	• Envelopação
EMBALAR KIT	• Embalação

O caminho que cada tipo de meia percorre pelas células de trabalho varia de acordo com as especificações dos kits de meia pedido pelo cliente.

Por exemplo, para o Kit 144, as células de trabalho envolvidas com as operações de “Tecer” é a Tecelagem de Meia Bebê. Já para o Kit 833, é a Tecelagem de Meia Atoalhada. Isto acontece para quase todas as células de trabalho.

O modelo de seqüenciamento da produção de meias nesta indústria é o *Job Shop* Flexível, pois os recursos (máquinas ou colaboradores) trabalham em paralelo. Existem células de trabalho agrupando recursos idênticos que funcionam em paralelo fazendo com

que um trabalho seja processado em uma máquina de uma célula de trabalho, mas todas as máquinas desta célula poderiam processá-lo da mesma forma.

Capítulo IV
DESENVOLVIMENTO

4.1 FORMULAÇÃO DO PROBLEMA

Existem algumas peculiaridades inerentes ao setor têxtil que podem influenciar a tomada de decisões do PCP. A sazonalidade na demanda por produtos acarreta tanto variações na quantidade produzida quanto variações no *mix* de produtos. As empresas do setor têm dificuldades para ajustar suas capacidades produtivas às variações de demanda, alternando períodos (meses) em que a produção é para gerar estoques para demandas futuras (*make-to-stock*), com períodos de pico em que a alternativa é recorrer a horas extras, o que eleva os custos operacionais. Assim, para contornar esta situação, devem ser feitas constantemente programações da produção a fim de atender a estas demandas flutuantes.

A programação da produção é tipicamente um problema de *Scheduling,* uma vez que o seu principal papel é definir a programação ótima dos pedidos dentre as várias alternativas existentes. *Scheduling* trata com alocações de recursos escassos para tarefas em função do tempo e estão amplamente difundidos em uma grande variedade de atividades industriais ou tecnológicas e têm adquirido um caráter notório, mediante as exigências de aumento da produção de bens, em uma escala de tempo progressivamente menor. Nesse aspecto, pequenas falhas em um dos percursos de produção, podem desencadear desde pequenos prejuízos de ordem cronológica até a paralisação completa de todo um setor de produção.

A principal dificuldade dos problemas de *Scheduling* está em encontrar a sua solução ótima, uma vez que mesmo para problemas relativamente pequenos existe um enorme número de combinações possíveis de soluções viáveis.

Devido à importância do sequenciamento para uma linha de produção e que este não seja falho, foi identificada a necessidade de se aprimorar o processo e a confiabilidade da programação da produção da empresa objeto de estudo. Esse aprimoramento se faz com a criação de um módulo de sequenciamento da produção para o sistema computacional de planejamento e controle da produção existente na malharia.

Atualmente o sequenciamento da produção é realizado de forma intuitiva, ou seja, não existe nenhum sistema de análise computacional utilizado na definição da programação, sendo esta realizada a partir da experiência dos profissionais envolvidos. São estes profissionais que elaboram uma solução semanal e/ou diária de programação, baseando-se em aspectos como menor data de entrega, menor *setup*, baixo volume de estoque de produto em processo, disponibilidade de matéria prima, cliente “especial”, sendo que para cada caso específico utiliza-se um critério.

Não existe, portanto, padronização de procedimentos para a realização da programação e o processo de análise de viabilidade depende da visão restrita do problema dado o grande número de combinações de soluções existentes.

Somado a estes fatores, as ordens de prioridade de pedidos podem sofrer alterações repentinas de quantidade e/ou prazo, canceladas ou complementadas por pedidos urgentes. Estes fatos complicam ainda mais a forma de realização do sequenciamento.

Esta forma intuitiva de realizar o sequenciamento traz diversos problemas à linha de produção e pode afetar a qualidade e confiabilidade do produto final que será entregue ao cliente. Estes problemas podem ser:

- Atrasos de entrega: como não há uma melhor forma de realizar o sequenciamento, os pedidos acabam por obterem maiores *lead times* do que fora previsto e prometido ao cliente;
- Má distribuição de trabalhadores na linha de produção: a cada momento a mão-de-obra direta precisa ser alocada a diferentes células de trabalho devido à imprecisão na programação, o que ocasiona atrasos na produção;
- Má utilização de recursos durante o processo de produção: os recursos necessários ao processo de produção do produto ficam distribuídos de maneira peculiar ocasionando desperdícios de material.
- Elevado índice de máquina parada: como não há um melhor aproveitamento do maquinário por parte do sequenciamento, acontece constantemente do maquinário parar devido a quebras nas trocas de máquinas;
- Perda de eficiência devido a constantes mudanças na programação: como não há uma definição clara de quais pedidos deverão ser processados primeiro, sendo que a prioridade muda constantemente, a produção é obrigada a preparar a máquina constantemente para iniciar a fabricação de produtos diferentes, gerando ineficiência e custo de *setup* elevado. Este problema reflete na diminuição do índice de produtividade e em aumento de estoque de material em processo;

Todas essas deficiências denigrem a competitividade da empresa, causando custos desnecessários e insatisfação de clientes.

4.2 MÓDULO DE SEQUENCIAMENTO

4.2.1 Análise e Compreensão do Problema

O principal objetivo dos sistemas de programação avançada é a determinação exata do programa de produção, respeitando simultaneamente todas as restrições modeladas como de materiais e recursos. Esse programa é de duração curta e bastante detalhada em função de objetivos declarados pelos programadores da produção, como: maximização do

atendimento ao cliente através do cumprimento do prazo de entrega, minimização de custos operacionais e maximização do aproveitamento da capacidade produtiva.

Porém, mais importante que uma solução ótima é muitas vezes uma solução adequada e rápida, pois uma vez gerado o programa, este será afetado por eventos inesperados do chão de fábrica, como quebras de máquinas, falta de materiais, problemas com a qualidade. Nestas situações, a reprogramação é inevitável. É importante, por tanto, que o *software* possa gerar programas alternativos de forma rápida, sistemática e confiável.

Para que isso aconteça é essencial a análise e compreensão do problema. Esta se faz através do levantamento dos fatores que influenciam a programação da produção da malharia.

A seguir são descritas as características de cada fator consideradas na análise do problema e que foram estudadas para solução do problema de programação de pedidos da Malharia:

- **Objetivos da Programação**: atender aos pedidos existentes; diminuir *lead times* de produção; minimizar estoques em processo; minimizar *setups*; minimizar quebra de máquinas; aperfeiçoar alocação de recursos; aumentar a produtividade;
- **Políticas da Empresa:** manutenção corretiva das máquinas; faturamento diário; máquinas da célula gargalo operam 24hs por dia; prioridades diárias a serem atendidas;
- **Variáveis Críticas**: datas limite de entregas de pedidos; capacidade de produção das máquinas da célula gargalo; disponibilidade de matéria-prima; desperdício de manufaturados;
- **Indicadores de Produção**: *lead times* de produção; fila de pedidos a serem processados; disponibilidade de matéria-prima; tempos *setup* de máquinas; produção diária.

A geração de uma eficiente programação por um sistema computacional depende ininterruptamente do alinhamento deste sistema com todos estes fatores que influenciam o problema de programação da produção.

Além da necessidade destes fatores estarem alinhados ao sistema computacional, os módulos de sequenciamento da produção terá que se enquadrar no programa existente na empresa que foi descrito anteriormente.

4.2.2 Especificações do Sistema

Após a compreensão do problema e identificada as necessidades de criação do módulo, o levantamento das especificações do sistema consiste em definir os requisitos informacionais, que definem suas funcionalidades, seu desempenho e as condições do sistema que a malharia deseja para atender suas necessidades.

4.2.2.1 Requisitos de Desempenho

Como dito anteriormente, os problemas *job shop* possuem uma complexidade alta e a conquista de soluções qualificadas para um problema desta classe, sem garantir a solução ótima, é perfeitamente desejável quando não temos os recursos exigidos e os tempos computacionais são inviáveis durante a execução do problema para obter a solução ótima.

Mesmo sem garantir a solução ótima, o módulo de sequenciamento necessitará ser instalado em um computador que possua capacidade de processamento suficiente para atender as variáveis do problema (número de ordens de produção a serem processadas, numero de recursos disponíveis, etc.) e que seu tempo de processamento seja viável, visto que as programações são realizadas semanalmente, podendo ser reprogramadas diariamente.

Por isso o sistema (o *software* "Fábrica PCP" com o módulo de sequenciamento) deve contar com um computador PENTIUM IV de 3.0 GHz, com 1 GB de RAM (ou equivalente), sob o ambiente operacional Windows XP, e que sejam atendidas as seguintes restrições:

- Considerando a capacidade mensal de produção (e de demanda) de 40.000 dúzias de meias, ou seja, aproximadamente 10.000 dúzias por semana, num total de 1.430 dúzias por dia, devem ser processadas 72 ordens de produção (cada ordem de produção representa um lote de 20 dúzias).
- Tempo de processamento do sistema de 10 minutos.
- Possuir interface com o aplicativo *Acces* para que possa ser utilizado o Bando de Dados da Malharia.
- Os números de recursos disponíveis para cada célula de trabalho são descritos na tabela 4.1 a seguir:

Tabela 4.1 – Recursos disponíveis para cada célula de trabalho

CÉLULAS DE TRABALHO	RECURSOS
Tecelagem de Meia Lisa	12 máquinas de tecer
Tecelagem de Meia Atoalhada	15 máquinas de tecer
Tecelagem de Meia Bebê	5 máquinas de tecer
Overloques	2 máquinas de fechar
Remalhadeiras	3 máquinas de fechar
Viração Robô	2 máquinas Robôs
Viração manual	2 pessoas
Passação Máquina	3 máquinas de passar
Passação Bancada	1 bancada de passar
Dobração	10 pessoas dobrando
Tagueação	1 pessoa tagueando
Revolvação	5 pessoas revolvando
Envelopação	5 pessoas envelopando
Embalação	2 pessoas embalando

4.2.2.2 Requisitos de Segurança

Como o Módulo de Sequenciamento fará parte do *software* de Planejamento e Controle da Produção existente na empresa, este precisará requerer níveis diferentes de acesso aos recursos do sistema. Por isso, deve ser concebida a utilização do módulo exclusivamente pelos profissionais responsáveis pela programação da produção da malharia. É, portanto, necessária a criação de *login* e senha para acessar o sistema.

Os computadores onde serão instalados o sistema terão acesso ao Servidor de Banco de Dados da malharia, que contém as informações necessárias para o processamento do módulo.

4.2.2.3 Requisitos de Interface com o Usuário

É de suma importância que a Interface Gráfica com o usuário seja de fácil entendimento, com textos em português, campos e relatórios auto-explicativos, campos de data e hora no formato brasileiro, de fácil aprendizado e deverá permitir que o usuário realize ou altere facilmente a programação das ordens de produção.

4.2.2.4 Requisitos Operacionais

Os requisitos operacionais compreendem as funcionalidades que o módulo deverá considerar no momento de sua concepção. Eles são descritos a seguir:

1. Solucionar os problemas de programação da produção de meias, utilizando algoritmos adequados em um tempo de processamento viável, considerando:
   - Atender aos pedidos existentes;
   - Respeitar a política de programação da malharia;
   - Diminuir tempos de processamento de meias;
   - Minimizar estoques em processo;
   - Minimizar *setups* de produção;
   - Aumentar a produtividade;
2. Permitir comunicação com o Banco de Dados do programa existente na empresa, para obtenção de dados referentes a Pedidos Faturados, Tempo de processamento de cada tipo de meia em cada recurso (máquinas e pessoas), número de recursos disponíveis; ordens de produção a serem processadas;
3. Possibilidade de reprogramação repentina devido a eventos inesperados do chão de fábrica, como quebras de máquinas, falta de materiais, problemas com a qualidade e troca de prioridade de pedidos.
4. Minimizar o tempo de processamento de pedidos. Isto implica em minimizar o tempo total de processamento de cada produto;
5. Identificar recursos multifuncionais implicando na sua alocação a diferentes células de trabalho, quando necessário;
6. Considerar programações realizadas anteriormente, mas que não foram finalizadas e, por isso afetará a programação a ser realizada;
7. Gerenciamento de pedidos de clientes, fornecendo indicadores (mensais, semanais e diários) de atendimentos ou não atendimentos de pedidos de cliente no prazo previsto.

4.2.2.5 Requisitos de Resultado

O módulo de sequenciamento da produção deverá proporcionar um ganho na programação de meias da malharia representado através da diminuição de atrasos na entrega de pedidos e de desperdício de material.

4.2.3 Obtenção da solução do problema

Para a obtenção da solução do problema, o Módulo de Sequenciamento deverá receber as informações de entrada oriundas do Banco de Dados software “Fábrica PCP”. A partir daí processá-las e então disponibilizar os resultados. Estes resultados são descritos no item 4.2.4.

A programação de meias consiste em determinar para quais recursos e em que seqüência as ordens de produção deverão ser destinadas em função do menor tempo de processamento de tal modo que a demanda seja satisfeita, levando-se em consideração requisitos de qualidade, prazos de entrega e produção.

Os algoritmos exatos aplicados a problemas combinatoriais como é o caso do *job shop* são inviáveis computacionalmente, já que demandam muito tempo de processamento até atingirem uma solução ótima. Por isso, o módulo não precisará garantir a solução ótima, mas sim de uma solução sub-ótima com pouco tempo de processamento.

O problema de programação de meias deve ser modulado baseando-se em algoritmos Meta-Heurísticas. Como mencionado anteriormente no item 2.4.3 as buscas locais refinam de forma exata uma solução encontrada por uma heurística. A heurística explora o espaço de busca procurando regiões promissoras, a busca local explora essas regiões procurando pontos ótimos. Meta-heurísticas são técnicas que, quando aplicadas a métodos de busca local, permitem a superação da otimalidade local com vistas à obtenção de soluções de qualidade superior. Por isso a escolha deste método.

No item 2.4.3 são descritos os seguintes algoritmos Meta-heurísticas: *Iterative Improvement*, Otimização do passo, *Simulated Annealing,* Busca Tabu e GRASP, que servirão como base para o desenvolvimento do algoritmo que fornecerá a solução do problema em um tempo de processamento máximo de 10 minutos.

4.2.4 Funcionalidades e Saídas do Sistema

O Módulo de Sequenciamento deverá ler dados gerados pelo software “Fábrica PCP”, que fora descrito no item 3.2, e fornecer requisitos de saídas para que seja visualizada a solução de programação. Os dados e os requisitos de saída estão detalhados a seguir.

4.2.4.1 Ler “Fábrica PCP”

O módulo deverá captar as ordens de produção (*jobs*) geradas, com a informação do lote a ser produzido, assim como as informações de produção disponíveis no *software*, filtrando somente informações necessárias para a produção de tipos de meias que são

contidas nas ordens de produção. O fluxo de informações necessárias é descrito a seguir na tabela 4.2:

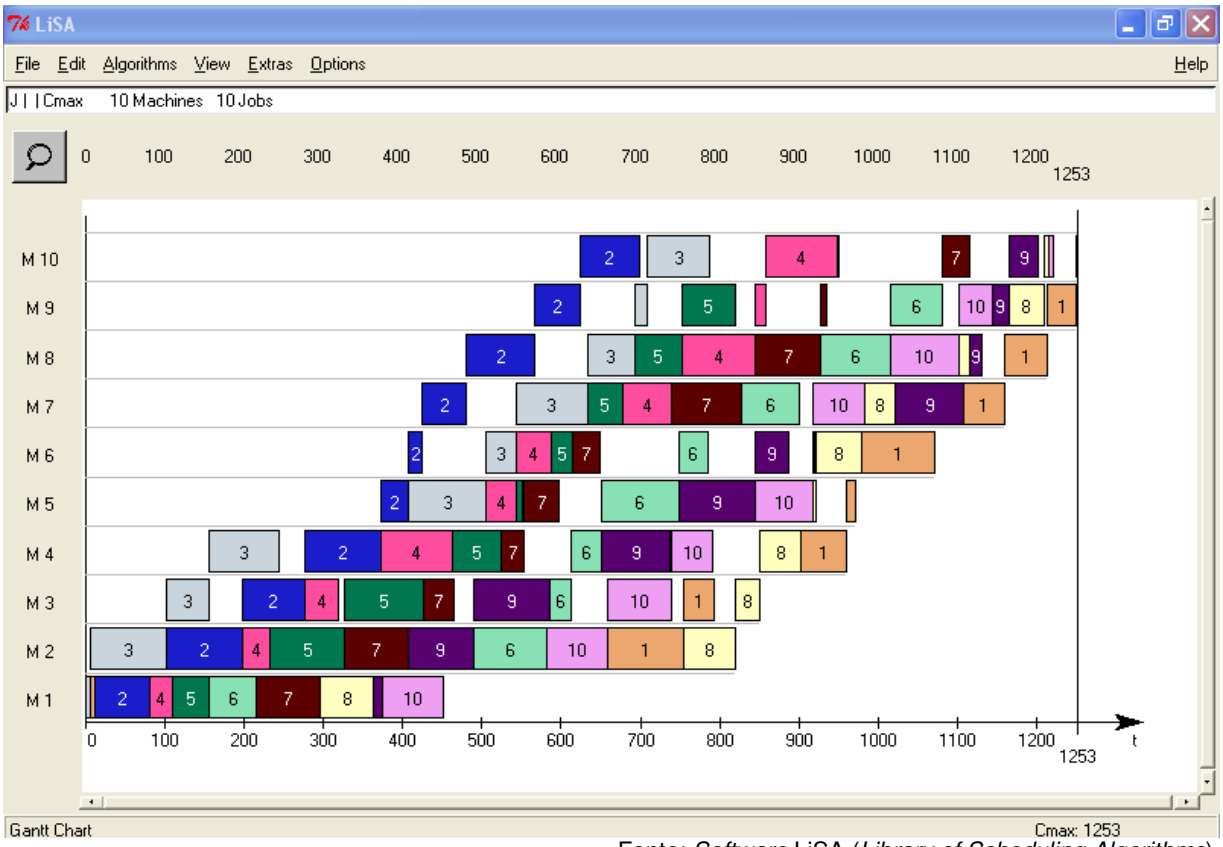
Tabela 4.2 – Fluxo de informações

INFORMAÇÃO	EXEMPLO	DESCRIÇÃO
Código da Meia	M144A	Meia 144 com variação A
Caminho da Meia	Tecelagem de Meia Bebê/ Remalhadeira/ Viração Robô/ Passação Máquina/ Dobração/ Revolvação/ Envelopação/ Embalação.	Células de Trabalho que passam a Meia 144
Tamanho da Meia	M144A bb	Meia 144 com variação A e tamanho bb
Lead time de cada célula para cada tipo de meia	M144A bb, Tecelagem de Meia Bebê, 1,5dz/h.	Célula "Tecelagem de Meia Bebê". Produção de 1,5 dúzias por hora
Tempo de *setup* entre tipos de meia	M144A e M144B	Troca de máquina entre M144A e M144B – 10 minutos

4.2.4.2 Representação em Gráfico de Gantt da solução

As soluções fornecidas pelo módulo devem ser representadas em Gráfico de Gantt conforme figura 4.1 abaixo:

Figura 4.1 – Gráfico de Gantt da solução



Fonte: *Software* LiSA (*Library of Scheduling Algorithms*)

4.2.4.3 Gerar Relatório da programação

Para o essencial gerenciamento da programação por parte dos profissionais responsáveis, é essencial a geração de relatórios da solução encontrada pelo sistema. Estes relatórios devem ser em formato para impressão e possuir recurso de exportação para aplicativos do pacote *Office*.

As seguintes informações deverão constar deste relatório:

- Data da Programação;
- Cenário de Pedidos (com datas de emissão e datas de saída) com a descrição de clientes;
- Listagem das ordens de produção, informando seu número, operação a que pertence (informando recursos), previsão de entrada e saída da produção;
- Representação em Gráfico de Gantt da solução;
- Comentários e observações do responsável pela programação.
- Representação da previsão (ou simulação) do “Mapa de Produção” (com a localização das ordens de produção no processo) no decorrer do tempo.

CAPÍTULO V
CONCLUSÃO

5.1 ANÁLISE DE VIABILIDADE DE IMPLANTAÇÃO

No decorrer do desenvolvimento deste trabalho, ocorreu um fato inesperado de fechamento da fábrica objeto de estudo. Portanto não será possível a implantação do módulo de sequenciamento ao sistema de PCP existente. No entanto, como o presente trabalho trata-se de um estudo, foi possível dar continuidade ao mesmo, conseguindo fazer com que os objetivos esperados fossem alcançados.

5.2 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Em virtude da grande diversidade de sistemas existentes, que muitas vezes não conseguem representar em seu modelo as peculiaridades do processo produtivo de cada empresa, limitando assim a flexibilidade e a eficiência exigida, torna-se muitas vezes necessário o desenvolvimento de ferramentas que se integrem com o sistema em uso e passem a ser um diferencial competitivo da empresa perante o mercado.

Através dos estudos realizados foi especificado o módulo de sequenciamento de produção baseado em regras Meta-heurísticas, valendo-se de informações específicas do processo de produção de meias, do produto e dos recursos (máquinas e pessoas) dos centros de trabalho. Pretendeu-se desse modo reduzir o tempo de processamento de ordens de produção e de estoques em processo, para que pedidos sejam entregues no prazo pretendido sem ocasionar grandes desperdícios de material.

Apesar do módulo proposto não ter sido implementado, devido a fatores descritos anteriormente, conclui-se que o estudo atingiu seu objetivos de especificar o módulo de sequenciamento, que poderia complementar o sistema existente na empresa.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AARTS, E. H. L., VAN LAARHOVEN, P. J. M., LENSTRA, J. K. and ULDER, N. L. J. (1994) A Computational Study of Local Search Algorithms for Job-Shop Scheduling, *ORSA Journal on Computing*, **6**(2), Spring, 118-125.

BAKER, K. R. (1974) *Introduction to Sequencing and Scheduling*. John Wiley, New York.

BALAS, E., LANCIA, G., SERAFINI, P., and VAZACOPOULOS, A. (1998) Job-Shop Scheduling with Deadlines, *Journal of Combinatorial Optimization*, **1**(4), 329-353.

BAPTISTE, P., LE PAPE, C. and NUIJTEN, W. P. M. (1995) Constraint-Based Optimization and Approximation for Job-Shop Scheduling, *AAAI-SIGMAN Workshop on Intelligent Manufacturing Systems*, 14th International Joint Conference on Artificial Intelligence, Montréal, Québec, Canada, Aug 19, pp. 5-16.

BARNES, J. W. and CHAMBERS, J. B. (1995) Solving the Job Shop Scheduling Problem Using Tabu Search, *IIE Transactions*, vol 27, 257-263.

CAMEIRA, R. F., CHALLHOUB, F., VICENTE, L. 2003, “Engenharia de Processos e Engenharia de Sistemas: construindo Arquiteturas Integradas de Sistemas Componentizados a partir da concepção dos processos de negócio com uso de UML”. In: *XXIII Encontro de Engenharia de Produção*, Ouro Preto, outubro/2003.

CARVALHO, Verônica O, 2003, "Um Modelo de Seqüenciamento da Produção para um Sistema de Apoio à Decisão", *Departamento de Computação – UFSCar,* www.dc.ufscar.br, (consulta: maio/2006).

CASTRO, Roberto L, 2005, *Planejamento e Controle da Produção e Estoques: Um survey com fornecedores da cadeia automobilística brasileira.* Tese de M.Sc., Escola Politécnica da USP, São Paulo, SP, Brasil.

CHEUNG, J. Y. (1994) Scheduling, in Dagli, C. H. (ed) *Artificial Neural Networks for Intelligent Manufacturing*, Chapman and Hall, London, Chapter 8, pp. 159-193.

DORN, J; GIRSCH, M; SKELE, G; SLANY, W. (1996) Comparison of Iterative Improvement Techniques for Schedule Optimization.

FOX, M. S. (1987) *Constraint - Directed Search: A Case Study of Job-Shop Scheduling*, Research Notes in Artificial Intelligence, Pitman Publishing, London.

FRENCH, S. (1982) *Sequencing and Scheduling - An Introduction to the Mathematics of the Job-Shop,* Ellis Horwood, John-Wiley & Sons, New York.

FUKUMORI, K. (1980) Fundamental Scheme for Train Scheduling (Application of Range-Constriction Search), AI Memo No. 596, Artificial Intelligence Laboratory, Massachusetts Institute of Technology, Cambridge, MA, USA, September.

GLOVER, F. and GREENBERG, H. J. (1989) New Approaches for Heuristic Search: A Bilateral Linkage with Artificial Intelligence, *European Journal of Operations Research*, **39**(2), 119-130.

HARA, H. (1995) Job-Shop Scheduling by Minimal Conflict Search, *Japanese Artificial Intelligence Society*, January, **10**(1), 88-93.

JAIN, Anant Singh, Sheik Meeran, 1998, “A State-of-the-Art Review of Job shop. Sheduling Techniques”, *Departament of Applied Physics, Eletronic and Mechanical Engineering, at University of Dundee, Dundee, Scotland.*

JOHNSON, S. M. (1954) Optimal Two- and Three-Stage Production Schedules with Set-Up Times Included, *Naval Research Logistics Quarterly*, vol 1, 61-68.

KOLONKO, M. (1998) Some New Results on Simulated Annealing Applied to the Job Shop Scheduling Problem, *to appear in the European Journal of Operational Research*.

LAGUNA, M., BARNES, J. W. and GLOVER, F. W. (1991) Tabu Search Methods for a Single Machine Scheduling Problem, *Journal of Intelligent Manufacturing*, vol 2, 63-74.

LAGUNA, M., BARNES, J. W. and GLOVER, F. W. (1993) Intelligent Scheduling with Tabu Search: An Application to Jobs with Linear Delay Penalties and Sequence-Dependent Setup Costs and Times, *Journal of Applied Intelligence*, vol 3, 159-172.

LUZ ESCOLFIELD, Wendrer C, 2002, “Uma Implementação Híbrida e Distribuída do Problema *Job shop* através dos Algoritmos GRASP e Genético”, *Departamento de Computação – UFOP,* www.ufop.br/decom, (consulta: junho/2006).

MARTIN, O., OTTO, S. W. and FELTEN, E. W. (1989) Large-Step Markov Chains for traveling salesman problem, *Complex Systems*, vol 5, 299-326.

MARTIN, O., OTTO, S. W. and FELTEN, E. W. (1992) Large-Step Markov Chains for TSP Incorporating Local Search Heuristics, *Operations Research Letters*, vol 11, 219-224.

MATSUO, H., SUH, C. J. and SULLIVAN, R. S. (1988) A Controlled Search Simulated Annealing Method for the General Job-Shop Scheduling Problem, Working Paper #03-04-88, Graduate School of Business, The University of Texas at Austin, Austin, Texas, USA.

MORTON, T. E. and PENTICO, D. W. (1993) *Heuristic Scheduling Systems*, Wiley Series in Engineering and Technology Management, Wiley, New York.

P.B. LUH, X. Zhao, L. S. Thakur (1999) Architectural Design of Neural Network Hardware for Job Shop Scheduling.

PANWALKAR, S. S. and ISKANDER, W. (1977) A Survey of Scheduling Rules, *Operations Research*, Jan-Feb, **25**(1), 45-61.

PINEDO, Michael, 2002, *Scheduling: Theory, algorithms, and systems – 2ª* ed., New Jersey, Prentice Hall.

RESENDE, M. G. C., (1997) A GRASP for Job Shop Scheduling, *INFORMS Spring Meeting*, San Diego, California, USA, May.

RODRIGUES, Iana A, 2003, “O Planejamento e Controle da Produção numa empresa do setor de autopeças na região metropolitana de Belo Horizonte”, *Departamento de Engenharia de Produção, Administração e Economia – UFOP,* www.ufop.br/depro, (consulta: junho/2006).

ROWE, A. J. and JACKSON, J. R. (1956) Research Problems in Production Routing and Scheduling, *Journal of Industrial Engineering*., vol 7, 116-121.

TAILLARD, É. (1994) Parallel Taboo Search Techniques for the Job-Shop Scheduling Problem. *ORSA Journal on Computing*, **16**(2), 108-117.

TUBINO, Dalvio, F., 1997, *Manual de Planejamento e Controle da Produção.* 1ª ed. São Paulo, Editora Atlas.

VAESSENS, R. J. M., AARTS, E. H. L. and LENSTRA, J. K. (1995) A Local Search Template Revised Version, Department of Mathematics & Computing Science, Eindhoven University of Technology, Eindhoven, The Netherlands, January.

VAN LAARHOOVEN, P. J. M., AARTS, E. H. L. and LENSTRA, J. K. (1992) Job Shop Scheduling by Simulated Annealing, *Operations Research*, Jan-Feb, **40**(1), 113-125.

ZHANG, H.-C. and HUANG, S. H. (1995) Applications of Neural Networks in Manufacturing: A State-of-the-Art Survey, *International Journal of Production Research*, **33**(3), 705-728.