

**UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO  
ESCOLA DE ENGENHARIA DE SÃO CARLOS**

**LUIZ FELIPE PEREIRA LEITE**

**PLANEJAMENTO E CONTROLE DA PRODUÇÃO NA  
ÓTICA DO DESENVOLVIMENTO DE  
PSEUDOCÓDIGOS**

São Carlos

2011



**LUIZ FELIPE PEREIRA LEITE**

**PLANEJAMENTO E CONTROLE DA  
PRODUÇÃO NA ÓTICA DO  
DESENVOLVIMENTO DE  
PSEUDOCÓDIGOS**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à  
Escola de Engenharia de São Carlos, da  
Universidade de São Paulo

Curso de Engenharia da Computação

ORIENTADOR: Fábio Müller Guerrini

São Carlos

2011

AUTORIZO A REPRODUÇÃO E DIVULGAÇÃO TOTAL OU PARCIAL DESTE TRABALHO, POR QUALQUER MEIO CONVENCIONAL OU ELETRÔNICO, PARA FINS DE ESTUDO E PESQUISA, DESDE QUE CITADA A FONTE.

Ficha catalográfica preparada pela Seção de Tratamento  
da Informação do Serviço de Biblioteca – EESC/USP

L533p      Leite, Luiz Felipe Pereira  
Planejamento e controle da produção na ótica do  
desenvolvimento de pseudocódigos / Luiz Felipe Pereira  
Leite; orientador Fábio Müller Guerrini. -- São Carlos,  
2011.

Monografia (Graduação em Engenharia de Computação) --  
Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade

*Dedico este trabalho aos meus pais,  
Luiz René Leite e Orelí Aparecida  
Pereira Leite, pelo apoio e incentivo ao  
longo do curso, sem os quais não  
venceria as barreiras e dificuldades  
encontradas ao longo dos meus seis  
anos de curso.*



# AGRADECIMENTOS

A os meus pais, pelo apoio que recebi, por terem me dado as condições necessárias ao longo de toda minha graduação.

Às minhas irmãs, que apesar das diferenças foram sempre um porto seguro em climas de tempestade, e ao meu sobrinho, Vinícius Leite Áli, cuja simples existência me motivou a ser uma pessoa melhor.

Aos diversos companheiros de faculdade com os quais tive o prazer de morar durante esses seis anos, com os quais muito aprendi, sobre os mais variados temas e culturas, tornando minha vida imensamente mais rica em um período tão curto de tempo.

Aos meus grandes amigos Marcus Vinícius Alves, Matheus Tozi Pissinato, Rafael Augusto Costa e Eudes Pissinato Pereira, para os quais muitas vezes não há tempo, a distância é grande, mas a amizade continua.

*“Eu acredito, eu luto até o fim: não há como perder, não há como não vencer.”*

*- Oleg Taktarov*





# SUMÁRIO

<b>SUMÁRIO .....</b>	<b>9</b>
<b>LISTA DE FIGURAS .....</b>	<b>11</b>
<b>LISTA DE TABELAS .....</b>	<b>12</b>
<b>RESUMO .....</b>	<b>13</b>
<b>ABSTRACT .....</b>	<b>14</b>
<b>1. INTRODUÇÃO .....</b>	<b>15</b>
1.1. CONTEXTO DO TRABALHO .....	15
1.2. OBJETIVOS .....	17
<b>2. PLANEJAMENTO E CONTROLE DE PRODUÇÃO .....</b>	<b>18</b>
2.1. TÉCNICAS PARA PCP .....	21
2.1.1. MRP ( <i>material requirements planning</i> ) .....	21
2.1.2. MRPII ( <i>manufacturing resources planning</i> ) .....	22
2.1.3. TOC ( <i>theory of constraints</i> ) .....	24
2.1.4. JIT ( <i>just in time</i> ) .....	24
<b>3. ESCALONAMENTO DE TAREFAS (JOB SHOP SCHEDULING) .....</b>	<b>29</b>
3.1. REGRAS DE PRIORIDADE .....	32
3.2. MEDIDAS DE DESEMPENHO .....	34
3.3. IMPORTÂNCIA DO PCP .....	35
<b>4. CAPACIDADES DE UM SISTEMA DE INFORMAÇÃO VOLTADO PARA O PLANEJAMENTO E O CONTROLE DE PRODUÇÃO .....</b>	<b>37</b>
4.1. TIPOS E USOS DOS SISTEMAS DE PCP .....	38
4.2. COMO FUNCIONA UM SISTEMA DE INFORMAÇÃO PARA PCP .....	41
4.3. CAMINHO DA INFORMAÇÃO .....	41
<b>5. COMO DESENVOLVER UM SISTEMA EFETIVO DE PCP .....</b>	<b>42</b>
5.1. A IMPLANTAÇÃO .....	43
5.1.1. <i>Necessidades de informação</i> .....	43
5.1.2. <i>Freqüência da coleta de informação</i> .....	44
5.2. GESTÃO DA CONFIGURAÇÃO DO SOFTWARE (GCS) .....	45
5.2.1. LINHAS BASE .....	46
5.2.2. ELEMENTO DE CONFIGURAÇÃO DE SOFTWARE .....	47

<b>6.</b>	<b>TÉCNICAS PROPOSTAS.....</b>	<b>50</b>
6.1.	TÉCNICAS DE PREVISÃO DE VENDAS .....	50
6.1.1.	<i>Regressão Linear Simples</i> .....	50
6.1.1.1.	Pseudocódigo Proposto .....	51
6.1.2.	<i>Regressão Linear Corrigida Pelo Fator de Sazonalidade</i> .....	52
6.1.2.1.	Pseudocódigo Proposto .....	53
6.1.3.	<i>Média Móvel Simples</i> .....	53
6.1.3.1.	Pseudocódigo Proposto .....	54
6.1.4.	<i>Média Móvel Ponderada</i> .....	55
6.1.4.1.	Pseudocódigo Proposto .....	56
6.1.5.	<i>Média Móvel Ponderada Exponencialmente</i> .....	57
6.1.5.1.	Pseudocódigo Proposto .....	58
6.2.	TÉCNICAS DE PLANO DE RECURSOS.....	59
6.2.1.	<i>Método Canto Noroeste</i> .....	59
6.2.1.1.	Pseudocódigo Proposto .....	60
6.3.	TÉCNICAS DE ADMINISTRAÇÃO DE ESTOQUE.....	61
6.3.1.	<i>Lote Econômico de Compra</i> .....	61
6.3.1.1.	Pseudocódigo Proposto .....	62
6.3.2.	<i>Reposição Periódica de Estoques</i> .....	62
6.3.2.1.	Pseudocódigo Proposto .....	63
6.3.3.	<i>Método Silver Meal</i> .....	63
6.3.3.1.	Pseudocódigo Proposto .....	65
6.4.	TÉCNICAS DE PROGRAMAÇÃO DE ATIVIDADES,.....	66
6.4.1.	<i>Regra de Johnson para duas Máquinas</i> .....	66
6.4.1.1.	Pseudocódigo Proposto .....	67
6.4.2.	<i>Regra de Johnson para três Máquinas</i> .....	68
6.4.2.1.	Pseudocódigo Proposto .....	69
<b>7.</b>	<b>SISTEMA PCPWEB.....</b>	<b>71</b>
<b>8.</b>	<b>CONCLUSÃO .....</b>	<b>75</b>
<b>9.</b>	<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>76</b>

## LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 - IDENTIFICAÇÃO DO GARGALO EM UM PROCESSO PRODUTIVO .....	21
FIGURA 2 - PLANEJAMENTO DE RECURSOS DE MANUFATURA.....	23
FIGURA 3 - SISTEMA DE PRODUÇÃO PUXADO .....	27
FIGURA 4 - SISTEMA DE CONTROLE DA PRODUÇÃO CONWIP. FLUXO DE MATERIAIS MOSTRADO EM AZUL E FLUXO DE INFORMAÇÃO (CARTÃO) MOSTRADO EM VERDE .....	27
FIGURA 5 - SISTEMA COM TODAS AS OPERAÇÕES SENDO GARGALOS .....	32
FIGURA 6 - SEQUENCIAMENTO BASEADO NO LUCRO UNITÁRIO .....	34
FIGURA 7 - SEQUENCIAMENTO BASEADO NO PRAZO DE ENTREGA.....	34
FIGURA 8 - EVOLUÇÃO DOS MODELOS DE PRODUÇÃO .....	36
FIGURA 9 - EXEMPLO DE UMA SÉRIE DE DADOS COM TENDÊNCIA.....	50
FIGURA 10 - EXEMPLO DE UMA SÉRIE DE DADOS SAZONAIS, COM TENDÊNCIA .....	52
FIGURA 11 - EXEMPLO DE UMA SÉRIE DE DADOS ESTACIONÁRIA, COM MÚLTIPLAS MÉDIAS MÓVEIS.....	54
FIGURA 12 - EXEMPLO DE UMA SÉRIE DE DADOS ESTACIONÁRIA, COM MÚLTIPLAS MÉDIAS PONDERADAS .....	56
FIGURA 13 - EXEMPLO DE UMA SÉRIE DE DADOS ESTACIONÁRIA, COM MÚLTIPLAS MÉDIAS PONDERADAS EXPONENCIALMENTE .....	58
FIGURA 14 - QUADRO DE CUSTOS DO PLANO DE RECURSOS .....	60
FIGURA 15 - QUADRO DE CUSTOS RESOLVIDO PELO MÉTODO CANTO NOROESTE .....	60
FIGURA 16 - EXEMPLO DE UM GRÁFICO DE DEMANDA APRESENTANDO FLUTUAÇÃO.....	64

## LISTA DE TABELAS

TABELA 1 – EXEMPLO DE PRODUTOS A SEREM FABRICADOS E SEUS ATRIBUTOS .....	33
TABELA 2 - EXEMPLO DE APLICAÇÃO DA REGRA DE JOHNSON PARA DUAS MÁQUINAS .....	66
TABELA 3 - TEMPOS DE EXECUÇÃO DE ATIVIDADE EM UMA LINHA COM TRÊS MÁQUINAS.....	68
TABELA 4 - EXEMPLO DE APLICAÇÃO DA REGRA DE JOHNSON PARA TRÊS MÁQUINAS.....	69

## RESUMO

LEITE, L. F. P. *Planejamento e Controle da Produção na ótica do desenvolvimento de pseudocódigos*. São Carlos, 2011. Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.

Sistemas de Planejamento e Controle da Produção são de grande impacto, concentrando vários sistemas e atividades, realizando o tratamento e manipulação de dados pertinentes, indo de previsões de venda a controle de fabricação, para gerenciar decisões, estabelecer planos, preparar e acompanhar atividades de nível operacional. Os Sistemas de PCP agrupam as atividades pertinentes às metas desejadas, e buscam otimizar toda a linha de produção, desde os níveis mais abstratos até os níveis mais físicos. Neste trabalho são descritas as técnicas do Planejamento e Controle da Produção, abordadas as regras de prioridade e medidas de desempenho que são utilizadas em um sistema de PCP, discutidas as capacidades, usos e funcionamento de sistemas de informação para o PCP e apresentadas noções sobre o desenvolvimento dos sistemas de PCP, abordando sua implementação e configuração. Finalmente, são propostas técnicas do PCP às quais serão desenvolvidos pseudocódigos, e discutidas as conclusões referentes aos algoritmos desenvolvidos e futuras possibilidades de melhoria deste trabalho.

**Palavras-chave:** Sistemas de PCP (Planejamento e Controle da Produção), Sistemas de Informação, Modelagem de Produção, Sistemas de Auxílio à Decisão

## ABSTRACT

LEITE, L. F. P. *Planning and Control of Production under the discipline of code development*. São Carlos, 2011. Final Graduation Project – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.

Planning and Control of Production Systems are a useful tool composed of numerous systems and activities, performing data manipulation ranging from prediction of sales to production control, managing decisions, establishing plans, preparing and observing operational activities. PCP systems group various activities relevant to the desired goals, looking to optimize the whole production line, from the more intangible levels down to the more physical ones. In this paper are encountered the description of PCP techniques, the priority rules and performance measures important to PCP systems, discussions about the capabilities, uses and operation of information systems for PCP, and established ideas about the development of such systems, addressing its implementation and configuration. Finally, several PCP techniques are introduced, for which codes will be developed, and lastly the conclusions about those codes algorithms and future improvement possibilities are presented.

**Palavras-chave:** PCP (Planning and Control of Production) systems, Information Systems, Production Modelling, Decision Systems

# 1. INTRODUÇÃO

## 1.1. Contexto do trabalho

O Planejamento e Controle de Produção permite a continuidade dos processos produtivos na indústria, controlando a atividade de decidir sobre o melhor emprego dos recursos de produção, assegurando, assim, a execução do que foi previsto no tempo e quantidade certa e com os recursos corretos (VOLLMANN, 2006). Em resumo, o PCP trata dados de diversas áreas, transforma-os em informações, e planeja produção para que o produto seja entregue na data e quantidade solicitada.

A atividade de planejamento não se limita ao nível operacional, as atividades do PCP são exercidas nos três níveis hierárquicos de planejamento e controle das atividades produtivas de um sistema de produção (Slack, 1997). No nível estratégico, a gerência de produção toma decisões de médio e longo prazo que incluem decisões sobre a aquisição de equipamentos e máquinas, contratação de pessoas, administração de materiais e fornecedores, com base em previsões atualizadas de demanda (Slack, 1997).

No nível tático, onde são estabelecidos os planos de médio prazo para a produção, o PCP desenvolve o Planejamento Mestre da Produção, obtendo o Plano Mestre da Produção (PMP), que é a diretriz de produção (Slack, 1997). No nível operacional, onde estão preparados os programas de curto prazo de produção e realizado o acompanhamento dos mesmos, o PCP prepara a programação da produção administrando estoques, seqüenciado, emitindo e liberando as ordens de compras, fabricação e montagem, bem como executa o acompanhamento e controle da produção (Slack, 1997).

Entre as atividades mais encontradas em um PCP estão previsão de demanda, planejamentos de recursos e materiais, controles de capacidade e produção, e programação e seqüenciamento da produção. Já o fluxo de informações do PCP pode variar de acordo com os diferentes sistemas que são usados para implementar e operar as atividades – como os sistemas MRP, JIT e OPT (VOLLMANN, 2006).

A escolha pelas organizações por um dos sistemas de PCP (ou por uma combinação deles) constitui-se em uma importante decisão, que deve estar de acordo com as necessidades estratégicas da organização (Slack, 1997). É importante que a empresa tenha uma visão muito clara do negócio em que está envolvida e qual é o seu foco de atuação, pois existem uma grande variedade de objetivos e políticas de marketing. Estas variedades refletem as

diferenças entre os vários segmentos de mercado, que podem incluir: diferentes necessidades quanto aos tipos de produtos; variedade da linha de produtos; tamanho dos pedidos dos clientes; frequência de mudanças no projeto do produto; e introdução de novos produtos.

O sistema MRP, ou *Material Requirements Planning*, tem em seus pontos fortes um controle que abrange todas as principais atividades PCP, e aplicabilidade a sistemas produtivos com grandes variações e vasta quantidade de produtos diferentes. Porém tem alto custo operacional, implementação complexa, necessidade de alta precisão de dados e pouca ênfase no envolvimento da mão-de-obra do processo (VOLLMANN, 2006).

Já sistema JIT, ou *Just-in-time*, é um sistema mais simples e não tão focado no planejamento da produção, operando com uma atenção maior voltada aos níveis necessários de materiais, mão-de-obra e equipamentos. Desta maneira, ele trabalha com baixo nível de estoques e proporciona mudanças positivas na organização e na mão-de-obra. Tais mudanças, porém, são grandes e necessitam de parcerias com fornecedores e estabilidade de demanda (VOLLMANN, 2006).

Por ultimo há o sistema OPT – *Optimized Production Technology* – que é composto de uma filosofia de nove princípios e um software de quatro módulos. Graças a esse software é possível ao sistema simular a produção e direcionar esforços em cima de recursos geradores de gargalos, porém é considerado caro e a sistemática de trabalho usada pelos algoritmos dos módulos do software é desconhecida, protegida por Leis de Direito Autoral (VOLLMANN, 2006).

Todos estes sistemas são compostos de conjuntos de modelagens e técnicas pertinentes ao objetivo do sistema. Porém, o número de modelagens existentes em cada conjunto pode se demonstrar demasiado para serem utilizados de maneira eficiente, além de algumas modelagens precisarem ser repetidas várias vezes para adequar os resultados até um patamar de qualidade aceitável. Para auxiliar na aplicação destes sistemas, são geralmente utilizadas ferramentas de otimização e apoio à decisão.



## 1.2. Objetivos

Diversas atividades podem ser desenvolvidas pelo PCP, cada uma contando com uma ordem de ações e decisões própria, cada um seguindo um algoritmo distinto de funcionamento. Estudando tais informações é possível desenvolver pseudocódigos que descrevam o comportamento das atividades. Este trabalho busca formular tais algoritmos e desenvolver pseudocódigos auxiliar o andamento e as tomadas de decisão de cada atividade, além de possíveis interações entre as atividades.

Determinados estes pseudocódigos, será desenvolvido um sistema de auxílio ao ensino que implementa as funcionalidades descritas nos pseudocódigos propostos. A aplicação destes pseudocódigos busca demonstrar como seria utilizado um sistema de PCP e como este deva ser desenvolvido e aplicado, demonstrando a possibilidade de ferramentas de auxílio para as atividades, acelerando os processos e aumentando a eficiência de maneira não alcançável por métodos não-auxiliados.

## 2. PLANEJAMENTO E CONTROLE DE PRODUÇÃO

É fundamental a importância do Planejamento e Controle da Produção (PCP) na Gestão da Produção. Para entendimento deste trabalho deve-se considerar que o conceito de sequenciamento de produção está inteiramente ligado ao PCP nas indústrias, pois, é nesse setor das empresas, que se realiza uma tentativa de otimização tanto do desempenho da produção quanto da gestão dos recursos de bens e serviços disponíveis (VOLLMANN, 2006).

O PCP é o responsável por comandar e coordenar o sistema produtivo em uma organização. Para Slack et al (1997) o PCP deve se preocupar com a conciliação entre oferta e demanda. Para que isso seja possível, tarefas que buscam o equilíbrio de volume e tempo no sistema produtivo devem ser desenvolvidas (SILVA, 2005). Essa preocupação com fornecimento e demanda é capaz de ajudar a gerência de produção no controle eficiente do sistema produtivo. Baseando no trabalho de Slack et al (apud SILVA, 2005) as tarefas a serem desenvolvidas são:

a) Carregamento: quantidade de trabalho a ser alocado para um centro de trabalho, que pode ser, por exemplo, operário ou máquina a desempenhar a tarefa. Deve-se então determinar o quanto de serviço será alocado para o centro de trabalho, levando em conta fatores que podem aumentar os tempos das operações, como: manutenção das máquinas, tempo ocioso (dias que operários não operam as máquinas). Sendo assim, existem duas abordagens para o carregamento de uma máquina: o finito e o infinito. Finito consiste em alocar trabalho dentro de um limite estabelecido; por exemplo: condições de operação normal. Para infinito não há limitação ao trabalho a ser alocado, mas sim uma tentativa a corresponder a todo ele (exemplo: emergências de produção).

b) Sequenciamento: determinação da prioridade de fabricação dos produtos e serviços a serem desempenhados. Este método de escolha mais adequada da sequência de produtos ou serviços a serem processados no sistema produtivo é conhecido como sequenciamento de produção. Para a determinação da prioridade algumas regras de sequenciamento podem ser aplicadas, como por exemplo: data de entrega; lucro unitário; quantidade total; quantidade restante; lote típico; roteiro de produção; tempo de produção; tempo de transporte; tempo de setup. Para este estudo, o sequenciamento de produção terá fundamental importância para três

aspectos a serem otimizados: são eles: minimizar o atraso de entrega; aumentar o custo unitário e redução do tempo de setup.

c) Programação: a programação da produção pode ser visualizada em uma demonstração gráfica através de cronogramas que demonstrem o sequenciamento da mesma. Essa programação pode ser dividida em: Programação para Frente e Programação para Trás. A programação para Frente é realizada no momento que a demanda é confirmada, sendo assim muitas das vezes promove uma folga na entrega, porém requer alta utilização de mão-de-obra e possui flexibilidade para programação inesperada. Para Programação para Trás envolve-se em começar o trabalho no último momento possível, o que implica em uma não aceitação de atraso, a tarefa é desempenhada quando falta apenas a quantidade de horas para entregar, equivalente ao tempo de execução da mesma.

Quanto mais complexo for o sistema de produção, mais se torna necessário à integração entre os setores, ou seja, do PCP e a gerência de produção de uma organização. Por esse motivo que sistemas de produção sob encomenda necessitam de uma configuração adequada e bem específica para seu caso.

Para conquista de uma eficácia na produção dos produtos e serviços é indispensável que recursos produtivos estejam disponíveis na quantidade certa, no momento adequado e no nível de qualidade satisfatório (SLACK et al, 1997).

Segundo Slack et al (1997), o PCP deve estar preocupado com o equilíbrio entre oferta e demanda. Para isso ser realizado, métodos que buscam o nivelamento de volume e tempo no sistema produtivo devem ser gerados (SILVA, 2005).

Um sistema de produção sob encomenda tem características críticas de conciliação de oferta e demanda no sistema produtivo, isso ocorre devido ao baixo volume de produtos semelhantes na produção e pela grande diversidade de projetos, o que dificulta bastante o escalonamento das tarefas, pois são baseadas diretamente nas expectativas de encomendas (SILVA, 2005). Sendo a programação da produção sob encomenda difícil, pois ela atua diretamente com diversas áreas de trabalho da empresa, é necessária uma gestão eficiente entre os setores de: projetos; administração de estoques (almoxarifado); compras e produção.

O PCP é envolvido por uma série de decisões voltadas para definição de quando e quanto é necessário produzir e comprar, além de garantir que os recursos a serem utilizados na produção estejam disponíveis (CORREA et al, 2001). Por este motivo os setores de

projetos, almoxarifado, compras e produção devem estar conectados as atividades decisórias do PCP, de maneira que o escalonamento das tarefas possa ocorrer corretamente com a manutenção da oferta e demanda.

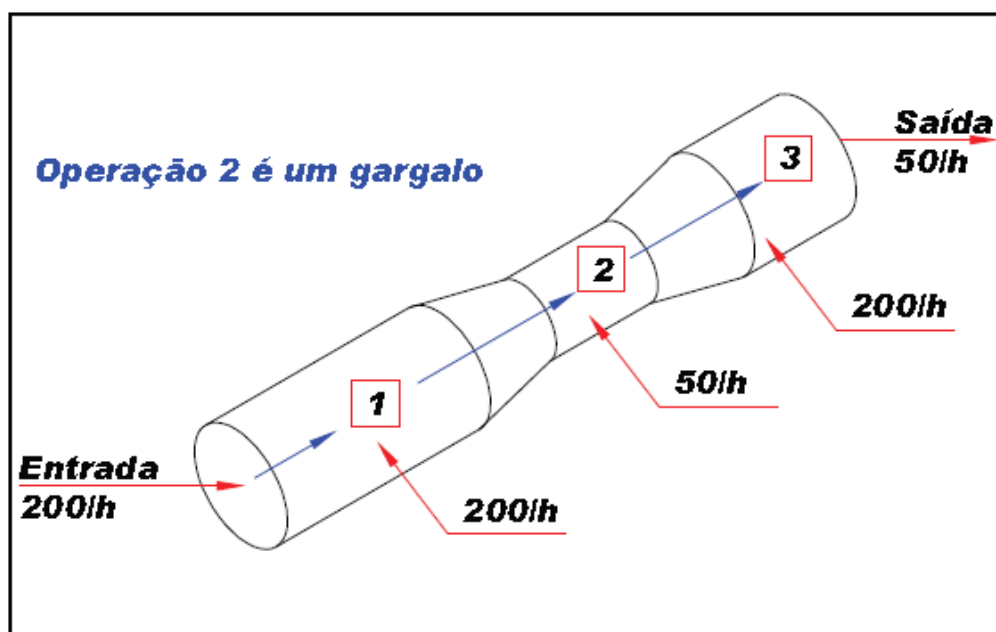
A resolução a nível operacional e de curto prazo do funcionamento e acompanhamento da produção, é de responsabilidade do PCP, e para Fernandes (1991) o planejamento da produção está relacionado a atividades com prazo que varia entre 3 a 18 meses. Objetivando o PCP, entende-se como controlar administração dos estoques, controlar e programar a produção, seqüenciar as atividades de maneira a conciliar ordens de compra e fabricação. O propósito do PCP é garantir a produção eficaz de bens e serviços.

Esse sistema de produção de característica não repetitiva, portanto de produção sob encomenda, possui as encomendas como itens indivisíveis e a necessidade dos clientes sendo imprevisíveis. Para tanto, a principal tarefa do sistema de alocação de carga por encomenda é reemitir internamente os pedidos dos clientes na forma de ordens de fabricação, requisições de compra e requisições de ferramentas (FERNANDES e GODINHO, 2007).

A principal dificuldade nesse sistema é a manutenção de registro preciso do saldo de carga em cada centro produtivo, ou pelo menos nos centros produtivos críticos (gargalos), de forma que os prazos de entrega possam ser definidos de maneira adequada e o trabalho tenha uma programação eficientemente, a fim de cumprir os prazos prometidos aos clientes (FERNANDES e GODINHO, 2007).

É essencial neste sistema a estimação dos prazos, mas para isso ocorrer de maneira satisfatória é muito comum e eficiente a preparação de um gráfico de Gantt com a alocação das cargas pelo menos no gargalo dos centros produtivos, ou seja, tratar com mais ênfase o sequenciamento neste ponto do processo (FERNANDES e GODINHO, 2007).

A Figura 1 retrata a identificação de um gargalo no sistema produtivo, onde fica evidenciado que um processo com capacidade ocupado no meio do sistema limita a saída do mesmo, ou seja, todo o processo é limitado pelo gargalo. Nesta Figura 1 pode ser notado que na fabricação de um item qualquer de um processo de produção onde exista uma demanda de 200 peças por hora, este sistema só será capaz de produzir 50 peças por hora, devido à limitação do gargalo na operação 2.



**Figura 1 - Identificação do gargalo em um processo produtivo.** Fonte: Fernandes e Godinho, (2007)

A origem dos estudos em escalonamentos de tarefas na produção se fez com Henry Gantt, que produziu a criação do Gráfico de Gantt, bastante importante naquele momento e ainda muito útil. A partir dele, diversos estudos foram direcionados para otimização dos processos de programação eficiente da produção (Fernandes e Godinho, 2007).

## 2.1. Técnicas para PCP

Segundo Barros e Tubino (1999) as técnicas mais conhecidas e utilizadas para PCP, são: MRP (material requirements planning); MRPII (manufacturing resources planning); JIT (just in time); TOC (theory of constraints).

### 2.1.1. MRP (material requirements planning)

O MRP é um sistema de grande porte utilizado desde os anos 70 na maioria das grandes empresas ao redor do mundo (VOLLMANN et al, 2006). O MRP permite que, com base na decisão de produção dos produtos finais (MPS), seja determinado automaticamente o que, quanto e quando produzir e comprar os diversos itens semiacabados, componentes e matérias primas.

### 2.1.2. MRPII (manufacturing resources planning)

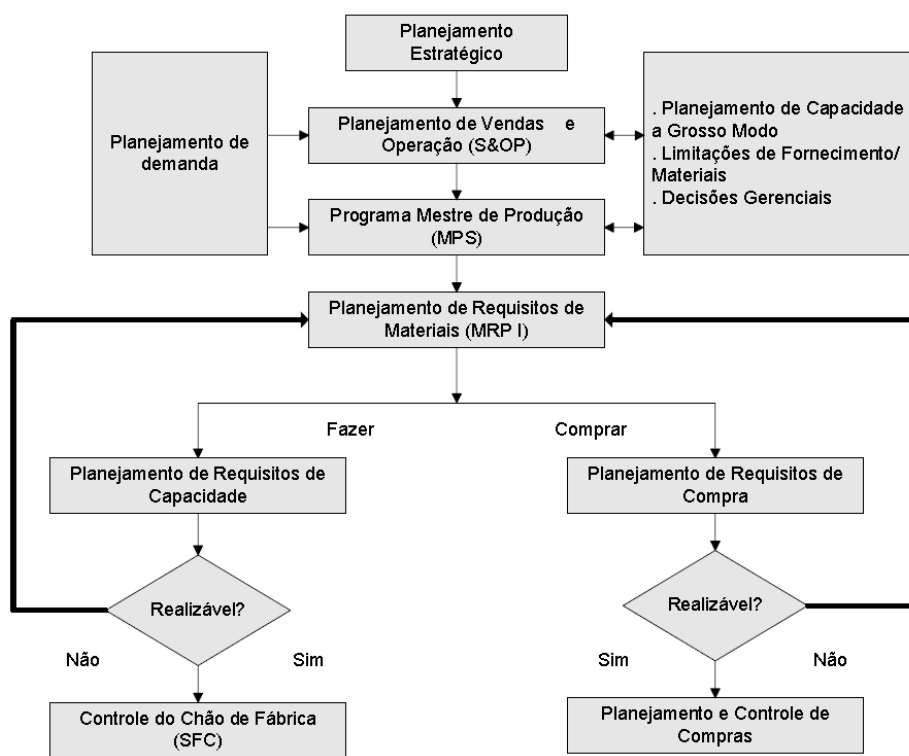
Com mais capacidade de processamento computacional, novos algoritmos e com novas necessidades operacionais por parte das empresas, os sistemas MRP foram se expandindo para toda a manufatura, representando uma extensão dos sistemas até então voltados para o controle de materiais. Com maior abrangência, esses sistemas passaram a ser conhecidos como Manufacturing Resources Planning (MRP II), sem, no entanto, abandonar a velha e tradicional lógica do MRP (VOLLMANN, 2006).

Nesse histórico de informatização, em 1989, Landvater e Gray publicam o livro MRP II “Standard System: A Handbook for Manufacturing Software Survival”. Nesse trabalho, os autores definem um Standard System (MRP II) como um sistema que envolve funções nas áreas de: planejamento de vendas e operações; gerenciamento da demanda; plano mestre de produção; MRP; lista de materiais; transação de inventários; recebimentos programados; controle de chão de fábrica; planejamento de requisitos de capacidade; Input/Output Control; compras; Distribution Resource Planning (DRP); interfaces com o planejamento financeiro; simulação e medidas de desempenho (LANDVATER; GRAY, 1989, p. xiii).

Os sistemas MRP II adotaram a abordagem de que uma empresa não era uma série de atividades independentes, mas que, na visão de Maskell (1994), estavam integradas por meio de um sistema computacional. Foi com essa nova ferramenta que as empresas de manufatura deram os primeiros passos para operacionalizar as atividades de PCP de forma integrada com toda a manufatura, incluindo a parte financeira e recursos humanos. Com as informações residindo em um grande banco de dados, o PCP passou a gerir e fornecer informações sobre fornecedores, transportes, distribuição e do próprio ambiente de produção (Sheikh, 2003). Aos poucos, sistemas legados foram cedendo espaço aos novos sistemas integrados, e com isso, o PCP ganhou ascendência com os sistemas de informação industrial, com um aplicativo de maior escopo e sofisticação.

Um diagrama identificando o MRP II e suas funções atuais é mostrado na Figura 2. Muito embora o cálculo de capacidade seja realizado em dois momentos distintos, um no nível do plano mestre e outro no nível detalhado do MRP, todo o procedimento de cálculo é executado após a “rodada” de cada programa, MPS e MRP, caracterizando um sistema de capacidade infinita. Se há capacidade suficiente para atender o plano de produção, ordens de produção são liberadas para o chão de fábrica, ficando o controle sobre o módulo Shop Floor Control (SFC) ou controle de Chão de Fábrica, também conhecido pelo nome Production Activity Control (PAC) ou Controle das Atividades de Produção (Sheikh, 2003). Dessa forma, as empresas de manufatura absorveram essa tecnologia com muitas delas

adaptando as práticas de trabalho ao software, com muito conhecimento técnico para lidar com as complexidades da nova ferramenta.



**Figura 2 - Planejamento de Recursos de Manufatura** Fonte: Sheikh (2003).

Ao longo dos anos, os sistemas de MRP II foram absorvendo outras funções, além daquelas tradicionais voltadas para a manufatura como a função de planejamento de vendas e operações. Aos poucos, esses sistemas ganhavam uma aparência de um sistema voltado para toda a empresa e não apenas para a manufatura (Sheikh, 2003). Contudo, as práticas com esses sistemas revelavam algumas dificuldades de integração computacional. As empresas ainda possuíam aplicativos específicos para a produção (MRP II), aplicativos para a contabilidade, geração de folhas de pagamento, entre outros, tudo na sua forma mais tradicional. Como o MRP II não atingiu na prática um grau de integração computacional prometido pelos fornecedores de software, Yusuf e Little (1998) realizaram uma pesquisa com empresas de manufatura de diversos setores e propuseram três saídas para o MRP II:

Primeira saída: a melhoria nas funções dos sistemas de MRP II existentes por meio de melhor capacidade de software em resolver problemas que podiam ser resolvidos apenas manualmente;

Segunda saída: o uso híbrido dos sistemas MRP II com outros sistemas de controle da manufatura para obter vantagens combinadas;

Terceira saída: a integração computacional dos sistemas MRP II com outras funções empresariais, conectando os sistemas funcionais existentes dentro das empresas.

Na primeira saída colocada por Yusuf e Little (1998) estão os problemas de capacidade ainda não resolvidos pelos tradicionais sistemas MRP II. Essa limitação de não restrição de capacidade por parte desses sistemas representou um dos maiores problemas para as empresas que adotaram esses sistemas de planejamento e programação da produção, principalmente em uma época que já não se podia mais relegar essa questão e culpar a produção por atrasos nos pedidos. Desta forma, houve muito trabalho em torno desse problema com o objetivo de criar um sistema capaz de gerar uma programação da produção factível. Esses sistemas passaram a ser conhecidos como Sistemas de Capacidade Finita ou Finite Capacity System (FCS), ou seja, um software que ao desdobrar o plano mestre de produção e gerar as ordens para peças e componentes, analisa a capacidade produtiva, ajustando as ordens conforme a capacidade disponível (YUSUF; LITTLE, 1998; JONSSON; MATTSSON, 2003).

#### 2.1.3. TOC (theory of constraints)

O problema de capacidade de produção não resolvido pelos sistemas de MRP abriu espaço para novas soluções como o Optimized Production Technology (OPT). O OPT, que mais tarde seria conhecido como a teoria das restrições ou Theory of Constraints (TOC), centrou-se na preparação de uma programação a partir de centros de trabalho gargalo para resolver os problemas de capacidade (RAHMAN, 1998; VOLLMANN et al, 2006). Foi uma maneira de questionar os velhos dogmas dos sistemas MRP II, mas que encontrou várias críticas, com base na complexidade do software e por ter um algoritmo proprietário.

#### 2.1.4. JIT (just in time)

O Just In Time (JIT) surgiu no Japão, no início dos anos 70, mas foi na Toyota Motor Company que sua idéia básica se desenvolveu muitos anos antes. Iniciou, vindo da necessidade de coordenar a produção com a demanda específica de diferentes modelos e cores de carro com o mínimo de atraso.



Conforme artigo na [trabescol.com](http://trabescol.com), 2003, o sistema de puxar a produção a partir da demanda, produzindo em cada somente os itens necessários e no momento necessário, ficou conhecido no ocidente como Sistema Kanban. Este nome é dado aos cartões utilizados para autorizar a produção e a movimentação de itens ao longo do processo produtivo. Contudo, o JIT é muito mais do que uma técnica ou um conjunto de técnicas de administração da produção, sendo considerado como uma completa filosofia, a qual inclui aspecto de administração de materiais, gestão de qualidade, arranjo físico, projeto de produto, organização do trabalho e gestão de recursos humanos (VOLLMANN, 2006). Embora haja quem diga que o sucesso do sistema de administração JIT esteja calcado nas características culturais do povo japonês, mais e mais gerentes e acadêmicos têm se convencido de que esta filosofia é composta de práticas gerenciais que podem ser aplicadas em qualquer parte do mundo. Algumas expressões são geralmente usadas para traduzir aspectos da filosofia Just In Time: produção em estoque, eliminação de desperdícios, manufatura de fluxo contínuo na resolução de problemas, melhoria contínua dos processos (VOLLMANN, 2006). A JIT, segundo Lubben (1989), é definida como: uma filosofia de administração que está constantemente enfocando a eficiência e integração do sistema de manufatura, utilizando o processo mais simples possível. Dedicção ao processo de esforçar-se continuamente para minimizar os elementos no sistema de manufatura que restrinjam a produtividade.

Já para Antunes (1989), a filosofia JIT se constitui em uma estratégia de competição industrial objetivando fundamentalmente dar uma resposta rápida às flutuações do mercado (orientando para o consumidor), associando a isto um elevado padrão de qualidade e custos reduzidos dos produtos. A filosofia JIT visa a melhoria contínua do processo de manufatura, garantindo a qualidade dos produtos e serviços de uma empresa, através do envolvimento das pessoas, buscando a simplicidade nos processos, eliminação dos desperdícios e garantindo a flexibilidade no atendimento das necessidades dos clientes. As definições do conceito JIT são baseadas na eliminação dos desperdícios, otimização dos processos, ou seja, eliminando atividades que não agregam valor à produção, como por exemplo, a produção preventiva de produtos com vistas à demanda futura, produzindo apenas o necessário para evitar estoques (Slack, 1997).

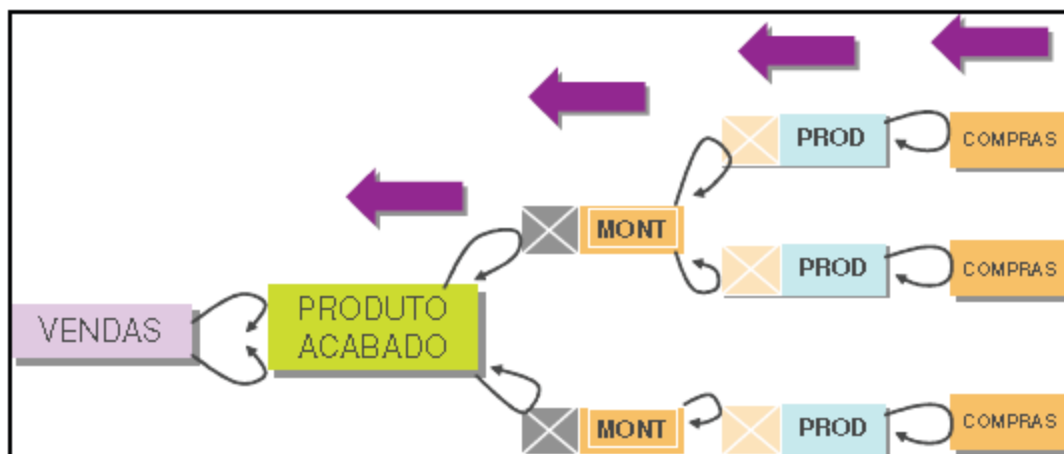
As altas taxas de utilização de equipamentos são decorrentes, em parte, da espera de materiais para serem processados; também é um desperdício. O transporte desperdiça tempo e recursos, sendo que o ideal é reduzir ao máximo a movimentação, garantindo menor distância percorrida (Antunes, 1989).

Os investimentos em estoque significam espaços maiores podendo ocorrer problemas de produção com baixa qualidade e produtividade. Devemos reduzir estoque eliminando as causas geradoras da necessidade de mantê-los (Antunes, 1989).

As análises de valores de um produto se baseiam na produção de custo no processamento, buscando a simplificação, redução do número de componentes ou operações para produzir um produto (VOLLMANN, 2006). Através do estudo de métodos, buscamos a economia de movimento, aumentando a produtividade e redução de tempos. A produção de produtos defeituosos desperdiça material, mão de obra, movimentação, armazenagem e inspeção que, dentro da filosofia JIT, não são aceitos. O processo produtivo deve ser desenvolvido de maneira que previna a ocorrência de defeitos (Lubben, 1989). A melhoria contínua deve ser um objetivo constante de toda empresa, tanto no processo de manufatura como na administração. A exposição dos problemas é de suma importância no processo de melhoria contínua para se descobrir falhas e, a partir daí, melhorar o processo produtivo.

O grau de envolvimento das pessoas é diretamente relacionado ao sucesso da filosofia JIT. Através de treinamento contínuo, desenvolvem-se soluções melhores e mais rápidas. Dentro da filosofia JIT, a motivação e o envolvimento nas tarefas, são primordiais. Simplicidade e flexibilidade garantem uma demanda cada vez mais diversificada e localizada, aliada com simplicidade nos métodos e processos, fazendo com que as pessoas tenham melhores condições de produzirem, de forma correta, com o mínimo de gasto de recursos, padronizando e sincronizando suas atividades (Lubben, 1989). E, por fim, a qualidade total, que concentra esforços em todos os setores da empresa, iniciando-se no projeto do produto, fornecedores, processo de produção e clientes, medindo sua manifestação em adquirir o produto. Em termos organizacionais, o princípio da qualidade total conduz a diminuir a inspeção, aumentando a prevenção e o treinamento (Antunes, 1989).

A Figura 3 apresenta um sistema de produção puxada. Esses sistemas autorizam a produção de determinado produto em determinado tempo ao invés de programar a produção antecipadamente como acontece nos sistemas de produção empurrada. São sistemas que administram a produção e que procuram ajustar os produtos em relação à demanda, isto é, só se inicia o processo produtivo quando realizado o pedido (venda) pelo cliente, então a produção, o transporte e compra somente ocorre no momento exato em que se torna necessário (BARCO e VILELA, 2008).

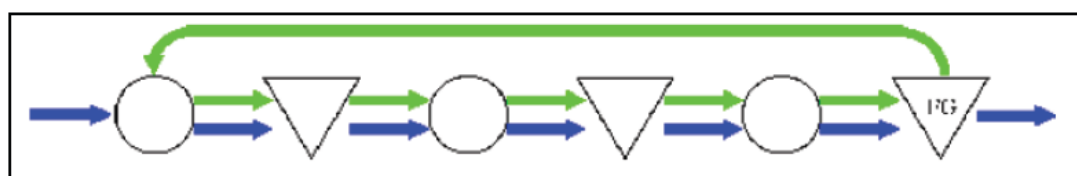


**Figura 3 - Sistema de produção puxado** Fonte: Barco e Vilela (2008).

Assim, quem começa o processo é o cliente, adquirindo um produto no setor de vendas, que passa uma solicitação para o estoque de produtos acabados, que repassa o pedido a montagem, e esta solicita a produção, que necessita de matéria prima a ser encomendada pelo setor de “compras”.

Como visto em Barco e Vilela (2008), existem também outros sistemas que englobam a filosofia JIT, como o CONWIP (*Constant Work in Process*) que procura compartilhar os benefícios de reduzir estoques e ainda ser aplicável mais facilmente nos ambientes produtivos.

A Figura 4 representa o funcionamento deste sistema, onde a sua diferença principal em relação ao Kanban é o fato da produção ser empurrada entre as estações de trabalho consecutivamente, respeitando as regras de FIFO (SPEARMAN et al., 1990 apud BARCO e VILELA, 2008), já no Kanban a produção é puxada pelas estações posteriores, como visto na Figura 2. Como visto na Figura 1 este sistema assemelha-se mais a essas características.



**Figura 4 - Sistema de controle da produção CONWIP. Fluxo de materiais mostrado em azul e fluxo de informação (cartão) mostrado em verde** Fonte: Barco e Vilela (2008).

É na solicitação à produção que se restringe essa pesquisa, onde é desejável criar cenários de produção satisfatórios. O estudo limita-se a tratar o problema de escalonar as tarefas a serem processadas no setor produtivo da empresa, mas precisamente no setor de usinagem nas máquinas identificadas como gargalos do sistema (Barco e Vilela, 2008).

Esta identificação baseia-se na experiência da empresa com problemas de atrasos e devido à capacidade destas máquinas estarem sempre próximas da máxima, sendo muitas das vezes necessários turnos extras para cobrir atrasos (Barco e Vilela, 2008).

### 3. ESCALONAMENTO DE TAREFAS (JOB SHOP SCHEDULING)

O escalonamento (sequenciamento) da produção é uma atividade que determina a sequência em que as tarefas serão executadas no sistema produtivo, através da determinação das ordens e suas respectivas regras de prioridade (SILVA, 2005), onde os itens a serem processados são jobs, que nada mais são que as ordens de produção (OPs), compostos de partes elementares chamadas de operações ou tarefas.

Os problemas de escalonamento de tarefas são aqueles que envolvem alocação de uma série de recursos (tempo, dinheiro, mão-de-obra, matéria-prima, máquinas, ferramentas, etc.), com a finalidade de executar uma determinada quantidade de tarefas. O planejamento e controle da produção encontrado nas empresas que produzem em série é bastante diferenciado das empresas que fabricam sob encomenda (BARROS e TUBINO, 1999).

Os problemas relacionados ao sequenciamento da produção sob encomenda são de grande complexidade e difícil resolução no universo dos problemas combinatórios e são considerados como problemas NPcompletos (GAREY e JOHNSON, 1979). Segundo problemas de sequenciamento podem ser entendidos da seguinte forma: “deseja-se realizar  $n$  tarefas ou atividades, onde cada atividade deve ser processada pelo menos em um, quase todos ou todos os  $m$  recursos produtivos”.

Para Zhou et al (2001) é extremamente dificultada a resolução ótima de um problema do tipo *Job Shop Scheduling* utilizando-se das técnicas tradicionais de otimização. Isso porque é demasiadamente complexa a resolução a nível computacional, levando em conta que em uma aplicação real soluções sub-ótimas são satisfatórias e suficientes no ambiente produtivo (ZHOU et al, 2001).

Em sistemas de produção sob encomenda as tarefas devem ser realizadas em um ou diversos equipamentos, o que exige deste sistema uma grande flexibilidade de seus equipamentos de manufatura (industrialização). O objetivo principal do sequenciamento otimizado é a minimização do tempo de realização das tarefas (*makespan*), para a melhor eficiência da distribuição do sistema. Os problemas de sequenciamento da produção são compostos por uma base de três conjuntos que formam a sua estrutura. Esses conjuntos são:

$S = (S1, S2, S3, \dots, Sn)$  de  $n$  tarefas,  $M = (M1, M2, M3, \dots, Mm)$  de  $m$  máquinas,  $R = (R1, R2, R3, \dots, Rr)$  de  $r$  tipos de recursos adicionais. É possível observar as características que definem a classificação dos problemas de escalonamento da produção (Zhou, 2001):

- a) Classificação de velocidade de processamento das máquinas: máquinas idênticas; máquinas uniformes e máquinas não relacionadas. Objeto de estudo são as máquinas não relacionadas, que possuem suas tarefas executadas em tempo de processamento diretamente dependente da operação a ser executada.
- b) Características das tarefas: vetor de tempo de processamento (tempo de execução da tarefa); datas de disponibilidade (data inicial que disponível para execução); data de entrega (data para finalizar a tarefa); prioridade (grau de importância para realização da operação). Esses são os dados característicos e gerais das tarefas a serem tratadas no trabalho. Das disposições relacionadas à data de entrega, poderá haver penalizações referentes ao atraso.
- c) Características dos recursos adicionais: pode-se destacar a sua necessidade básica para execução da operação, ou falta de utilidade, podendo também ser caracterizados no problema como variáveis binárias que indicam o valor '0' como não utilizado e '1' como obrigação para utilização.

A eficiência produtiva está relacionada a um bom escalonamento das tarefas. Esse pode gerar ganhos através dos bons resultados, com vantagens na redução de tempo no sistema de produção e também dos estoques, ações que podem gerar aproximação de um sistema de produção *Just In Time* ou de uma adoção de TOC.

Sem dúvida, a TOC é mais realista no ponto de vista de aplicação prática no Brasil, pois essa técnica exige uma ligeira aceitação dos estoques, porém deve ser utilizado de maneira a manter somente os gargalos previamente identificados e em funcionamento máximo, para reduzir atrasos e diminuir lead-time do sistema (CSILLAG e CORBETT, 1998). As condições geográficas do Brasil dificultam a aplicação total do Just In Time, pois o distanciamento das empresas pode ocasionar falhas em sistemas que não possuem estoque de segurança.

Algumas considerações de Pinedo (1995) devem ser seguidas para entendimento desse problema de JSS (*Job Shop Scheduling*), são elas: a) Todas as máquinas são diferentes e suas velocidades de processamento são constantes; b) Operações não podem ser interrompidas; c) Cada máquina pode processar apenas uma operação em cada instante de

tempo; d) Cada job só pode estar sendo processado em uma única máquina; e) Cada job é produzido por uma sequência conhecida de operações.

Ainda devem ser consideradas algumas restrições diferentes do trabalho de Pinedo (1995) são elas: a) Um job somente deve ser escalonado nas máquinas onde são necessárias operações; b) Podem existir restrições de precedência entre operações dos jobs; c) Cada job tem rota própria a percorrer através de  $m$  máquinas do sistema e pode se visitar qualquer máquina apenas uma vez, não se permitindo recirculação; d) Não há precedência das operações de diferentes jobs e uma tarefa não pode ser interrompida e retomada tempos depois; e) Pode haver necessidade de reprogramação do jobs; f) O momento inicial de processamento de tarefas nas máquinas poderá ser diferente.

Na pesquisa de Barros e Tubino (1999), é apresentada uma metodologia para implementação do PCP em empresas de pequeno e médio porte. Nesse trabalho é dada a importância para a implementação ideal do PCP, sequenciando de maneira ideal os passos de definição da equipe, tais como sensibilização, nivelamento do conhecimento, caracterização do tipo de sistema produtivo, levantamento de informações e análise do sistema atual.

Os resultados da pesquisa de Barros e Tubino (1999) mostram que o conhecimento da situação atual da empresa é necessário para promover a melhoria e possibilitar a adoção de sistemas computacionais. Entende-se que para que seja possível promover soluções realmente satisfatórias no sistema de produção real, além da equipe de planejamento e controle os demais envolvidos na produção, também se devem conhecer os benefícios e a maneira como funciona a determinação das sequências ideais.

Este conhecimento do sistema de produção demonstra que a identificação dos gargalos do sistema é o primeiro passos a ser tomado para qualquer melhoria que se desejar realizar em termos de otimização, pois de nada adiantará melhorar a eficiência de processos que não melhorem o sistema como um todo.

Por este motivo, o gargalo é o ponto ideal a ser estudado e melhorado, por isso considera-se que em um sistema, para ser perfeito, todos os processos devem ser considerados gargalos, uma vez que todos eles irão possuir capacidade de produção nivelada, sendo igualmente produzidas todas as quantidades em todos os pontos do processo, o que se tornaria produção contínua (Fernandes e Godinho, 2007).

A Figura 5 demonstra esse equilíbrio em todos os níveis de um determinado sistema produtivo ideal, ou seja, tenta representar um sistema de produção onde todas as operações são gargalos, isto é, não existem gargalos de capacidade produtiva no sistema.

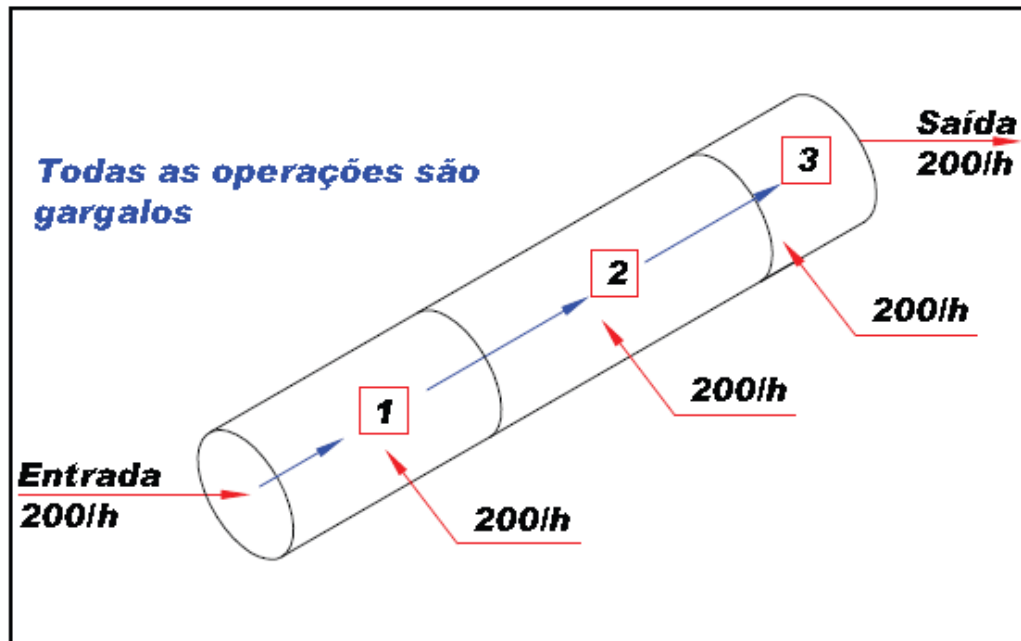


Figura 5 - Sistema com todas as operações sendo gargalos. Fonte: Fernandes e Godinho (2007)

### 3.1. Regras de Prioridade

A determinação das sequências das tarefas no sistema de produtivo é estabelecida por regras de prioridade. Essas regras servem para compor e classificar os produtos a serem fabricados. Em Silva (2005) são listadas algumas regras encontradas na literatura, elas são listadas a seguir:

- a) Data de entrega: corresponde ao prazo de entrega do produto, acertado com o cliente;
- b) Lucro unitário: preço de venda de uma unidade do produto;
- c) Quantidade total: quantidade total a ser produzida de um produto;
- d) Quantidade restante: quantidade do produto que ainda deve ser produzida no momento em que um evento ocorre no processo de produção;



- e) Lote típico: tamanho usual dos lotes do produto;
- f) Roteiro de produção: corresponde aos caminhos possíveis que o produto pode percorrer para ser produzido;
- g) Tempo de produção: tempo total que uma unidade do produto leva para ser produzida;
- h) Tempo de transporte: tempo de transporte do produto entre dois pontos (duas máquinas, por exemplo) do ambiente de produção;
- i) Tempo de setup: tempo de configuração para cada uma das máquinas que compõem o roteiro de produção do produto.

Um exemplo da aplicação das regras de prioridade pode ser visualizado abaixo. Na Tabela 1 são mostrados os dados que compõem uma lista de produtos a serem produzidos em um sistema de produção qualquer. Esses produtos possuem prazos de entrega e lucro unitário diferenciados.

**Tabela 1 – Exemplo de produtos a serem fabricados e seus atributos** (Silva, 2005)

<b>PRODUTO</b>	<b>PRAZO (dias)</b>	<b>LUCRO (reais)</b>
<i>Carro</i>	30	54.000
<i>Ponte</i>	90	73.000
<i>Redutor</i>	15	4.000
<i>Talha</i>	35	31.000
<i>Tear</i>	180	140.000

Baseando-se no lucro, a Figura 6 demonstra o resultado do seqüenciamento da produção para esses produtos. Já a Figura 7 apresenta outro resultado baseando-se no sequenciamento utilizando a regra de prioridade do prazo de entrega. Idealmente, o sequenciamento deve levar em conta um conjunto de fatores e não apenas um, com cada combinação diferente de prioridades gerando impactos também diferentes, de acordo com o cenário de sequenciamento escolhido.



**Figura 6 - Sequenciamento baseado no lucro unitário** Fonte: Silva (2005)



**Figura 7 - Sequenciamento baseado no prazo de entrega** Fonte: Silva (2005)

O entendimento dessas regras é importante, pois eles servem como base para os objetivos do sistema de produção; então, é a partir dessas regras que serão criadas as metas de otimização do processo produtivo, sendo que é impossível encontrar na maior parte dos casos uma solução ideal para todas as regras aplicadas no processo, tornando necessário o uso de outra concepção para determinar uma solução que seja satisfatória em vários aspectos (objetivos) (Silva, 2005).

### 3.2. Medidas de Desempenho

As medidas de desempenho ou mesmo, metas do sistema de produção, servem para estabelecer os objetivos juntamente com as regras de prioridade. Muitas das vezes esses critérios de desempenho também são contrastantes, o que implica em determinar corretamente as condições a serem atendidas em cada uma delas. Algumas medidas de desempenho apresentadas em Silva (2005) são expostas a seguir:

- a) Makespan: é o tempo necessário para produzir um grupo de produtos. Ou seja, é o tempo decorrido desde o início da primeira operação envolvendo o primeiro produto a ser processado até a última operação envolvendo o último produto;
- b) Tempo de fluxo: é o tempo total gasto desde o momento em que um produto começa a ser processado até o término da última operação que envolve sua produção;
- c) Tempo de atraso (tardiness): é o tempo de atraso entre o término da fabricação de um grupo de produtos e a data de entrega;

- d) Tempo de antecipação (earliness): é o tempo de antecipação do término da fabricação de um grupo de produtos em relação à data de entrega.
- e) Pontualidade (lateness): é a diferença de tempo entre o momento de término de um grupo de produtos e o prazo de entrega. Expressa o quanto o grupo de fabricação desviou-se do prazo pretendido;
- f) Lead-time: é o tempo gasto desde o momento em que foi feito o pedido até a entrega do produto;
- g) Utilização: porcentagem de tempo de uso de cada recurso (máquina) em relação ao tempo que ficaram disponíveis;
- h) Trabalhos em processo: quantidade de produtos que estão sendo processados simultaneamente.

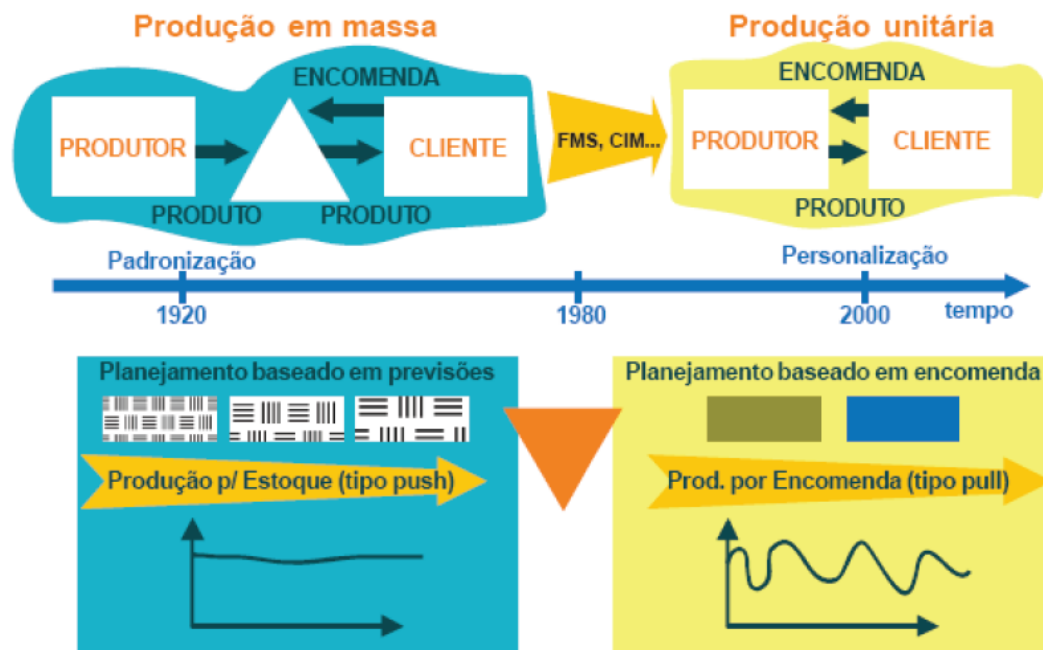
Escolher as medidas de desempenho e as regras de prioridade são as principais considerações a serem tomadas nos problemas de sequenciamento, pois a partir delas serão formados os objetivos e as metas do sistema de produção que se deseja otimizar. Nota-se que para se utilizar vários objetivos, promovem conflitos entre os mesmos e não será possível encontrar soluções que sejam ótimas para todos eles (Silva, 2005).

Ainda que seja normal e relevante não fazer cálculos das necessidades para todos os recursos disponíveis, nem todos os centros produtivos envolvidos. Ou mesmo os diversos departamentos existentes nas empresas, focalizando então a devida atenção apenas naqueles recursos considerados escassos ou críticos (OLIVARES, 2003). Sendo assim, é de fundamental importância caracterizar uma identificação adequada dos gargalos do sistema, isto é, identificar eficazmente os recursos escassos como objetivos a serem conquistados.

### 3.3. Importância do PCP

Saber planejar e controlar eficazmente a produção são tarefas árduas, difíceis de ser conquistadas, porém com o passar dos anos estudos são realizados para desenvolver técnicas e conceitos que tentam amenizar tais dificuldades (Peroba, 2007). Entretanto os ambientes produtivos estão em constante evolução, devido às mudanças nas formas de adaptação ao mercado, e com o passar dos anos fica evidente a necessidade de se atender as condições específicas dos clientes.

O PCP como instrumento de organização e controle dos ambientes de produção, possui papel fundamental para que a evolução ocorra de maneira adequada. Na Figura 8 é demonstrada a evolução que está ocorrendo nos ambientes produtivos da maioria das empresas.



**Figura 8 - Evolução dos modelos de produção** Fonte: Peroba (2007).

Essa evolução aponta claramente para uma produção oscilante e personalizada, onde o relacionar-se com o cliente passa a ser responsabilidade do fabricante. A evolução retrata os novos ambientes de produção das empresas onde a padronização dá lugar à alta customização dos produtos e serviços desenvolvidos. É importante que as indústrias se adaptem o quanto antes a essa evolução para que possam atender as demandas de maneira satisfatória. Porém, essas condições são complicadores em qualquer sistema de produção e exigem pesquisas e aprofundamento das técnicas atuais (Peroba, 2007).

#### 4. CAPACIDADES DE UM SISTEMA DE INFORMAÇÃO VOLTADO PARA O PLANEJAMENTO E O CONTROLE DE PRODUÇÃO

É essencial entender perfeitamente o que os sistemas de informação são capazes de fazer para uma organização. O conhecimento das capacidades potenciais de um sistema de informação computadorizado permite aos administradores analisar de forma sistemática cada uma das tarefas de uma organização e compará-las com as capacidades do computador (LAUDON, 1999).

Um sistema de informação para a administração particular pode ter várias capacidades técnicas. Em conjunto, estas contradizem o que se ouve comumente a respeito de que um computador é só uma calculadora de alta capacidade. Não pode fazer-se nada diferente, só o faz com maior rapidez (LAUDON, 1999). Entre as capacidades de um sistema de informação de PCP temos:

- a) Processamento de transações por lote: a maioria das organizações maneja uma grande quantidade e variedade de transações. Por exemplo, a atividade de mercadotecnia pode gerar vendas em efetivo e a crédito, devoluções ordens comuns, etc., cada uma para centos de produtos diferentes. Ademais se realizam muitos tipos de processamento que só estão relacionados indiretamente com atividade de vendas.
- b) Processamento de uma só transação: alternativa de processamento por lote é de uma só transação, no qual cada operação entra só no sistema de cômputo. Em geral o processamento por lote de uma só transação se usa quando ao acelerar a velocidade do processamento se provêem vendas significativas, como a entrega antecipada de mercadoria vendida (FREITAS, 1997).
- c) Comunicação de dados e comutação de mensagens: Dois ou mais sistemas de computadores podem unir-se por meio de linhas telefônicas ou outro método de transmissão para a transmissão dos dados de transações, arquivos de registros e programas. A comutação de mensagens usa esta rede de comunicações de computadores. A mudança de mensagem implica um sistema de correio “eletrônico”, por meio do qual os administradores de

uma organização mandam cartas ou mensagens aos administradores de outros lugares.

- d) Entrada de dados e atualização de arquivos remotos: utilizar os sistemas de comunicação de dados permite captar as transações no lugar onde ocorrem e transmiti-las a outra localização para seu processamento (PADOVEZE, 2002).

#### 4.1. TIPOS E USOS DOS SISTEMAS DE PCP

Durante os próximos anos, os Sistemas de Informação cumprirão três objetivos básicos dentro das organizações (OLIVEIRA, 2003):

- Automatização de processos operativos.
- Proporcionar informação que sirva de apoio ao processo de tomada de decisões.
- Conseguir vantagens competitivas através de sua implantação e uso.

Os Sistemas de Informação que conseguem a automatização de processos operativos dentro de uma organização são chamados frequentemente de Sistemas Transacionais, já que sua função primordial consiste em processar transações tais como pagamentos, cobranças, apólices, entradas, saídas, etc. Por outra parte, os Sistemas de Informação que apóiam o processo de tomada de decisões são os Sistemas de Suporte à Tomada de Decisões, Sistemas para a Tomada de Decisão de Grupo, Sistemas Experientes de Suporte à Tomada de Decisões e Sistema de Informação para Executivos. O terceiro tipo de sistema, de acordo com seu uso ou objetivos que cumprem, é o dos Sistemas Estratégicos, os quais se desenvolvem nas organizações com o fim de conseguir vantagens competitivas, através do uso da tecnologia de informação (OLIVEIRA, 2003).

A seguir são mencionadas as principais características destes tipos de Sistemas de Informação (OLIVEIRA, 2003).

- Sistemas Transacionais:
  - a) Através destes costuma-se conseguir economias significativas de mão de obra, devido a que automatizam tarefas operativas da organização.

- b) Com frequência é o primeiro tipo de Sistema de Informação que se implantam nas organizações. Começa-se apoiando as tarefas a nível operativo da organização.
  - c) São intensivos na entrada e saída de informação; seus cálculos e processos costumam ser simples e pouco sofisticados.
  - d) Têm a propriedade de serem recolhedores de informação, isto é, através destes sistemas se carregam as grandes bases de informação para sua exploração posterior.
  - e) São fáceis de justificar ante a direção geral, já que seus benefícios são visíveis e palpáveis.
- Sistemas de Apoio das Decisões:
    - a) Costumam ser introduzidos depois de ter implantado os Sistemas Transacionais mais relevantes da empresa, já que estes últimos constituem sua plataforma de informação.
    - b) A informação que geram serve de apoio aos comandos intermediários e à alta administração no processo de tomada de decisões.
    - c) Costumam ser intensivos em cálculos e escassos em entradas e saídas de informação. Assim, por exemplo, um modelo de planeamento financeiro requer pouca informação primeiramente, gera pouca informação como resultado, mas pode realizar muitos cálculos durante seu processo.
    - d) Não costumam poupar mão de obra. Devido a isso, a justificativa econômica para o desenvolvimento destes sistemas é difícil, já que não se conhecem os rendimentos do projeto de investimento (PADOVEZE, 2002).
    - e) Costumam ser Sistemas de Informação interativos e amigáveis, com altos padrões de desenho gráfico e visual, já que estão dirigidos ao usuário final.
    - f) Apóiam a tomada de decisões que, por sua mesma natureza são repetitivos e de decisões não estruturadas que não costumam se repetir. Por exemplo, um Sistema de Compra de Materiais que indique quando deve fazer-se um

pedido ao provedor ou um Sistema de Simulação de Negócios que apóie a decisão de introduzir um novo produto ao mercado.

- g) Podem ser desenvolvidos diretamente pelo usuário final sem a participação operativa dos analistas e programadores da área de informática.
- h) Pode incluir a programação da produção, compra de materiais, fluxo de fundos, projeções financeiras, modelos de simulação de negócios, modelos de inventários, etc. (REZENDE, 2001).

- **Sistemas Estratégicos:**

- a) Sua função primordial não é apoiar a automatização de processos operativos nem proporcionar informação para apoiar a tomada de decisões.
- b) Costumam ser desenvolvidos in house, isto é, dentro da organização, portanto não podem se adaptar facilmente a pacotes disponíveis no mercado.
- c) Tipicamente sua forma de desenvolvimento é à base de incrementos e através de sua evolução dentro da organização. Inicia-se com um processo ou função em particular e a partir daí se vão agregando novas funções ou processos.
- d) Sua função é conseguir vantagens que os competidores não possuam, tais como vantagens em custos e serviços diferenciados com clientes e provedores. Neste contexto, os Sistemas Estratégicos são criadores de barreiras primeiramente ao negócio. Por exemplo, o uso de caixas automáticos nos bancos num Sistema Estratégico, já que agrega vantagem sobre um banco que não possui tal serviço. Se um banco novo decide abrir suas portas ao público, terá que dar este serviço para ter um nível similar ao de seus competidores (MOSCOVE, 2002).
- e) Apóiam o processo de inovação de produtos e processo dentro da empresa devido a que procuram vantagens com respeito aos competidores e uma forma de fazê-lo em inovando ou criando produtos e processos.

Um exemplo destes Sistemas de Informação dentro da empresa pode ser um sistema MRP (Manufacturing Resource Planning) focado a reduzir substancialmente o desperdício no



processo produtivo, ou bem, um Centro de Informação que proporcione todo tipo de informação; como situação de créditos, embarques, tempos de entrega, etc. Neste contexto os exemplos anteriores constituem um Sistema de Informação Estratégico se e somente se, apóiam ou dão forma à estrutura competitiva da empresa (REZENDE, 2001).

Por último, é importante esclarecer que alguns autores consideram um quarto tipo de sistemas de informação denominado Sistemas Pessoais de Informação, o qual está enfocado a incrementar a produtividade de seus usuários (OLIVEIRA, 2003).

#### 4.2. COMO FUNCIONA UM SISTEMA DE INFORMAÇÃO PARA PCP

Um sistema de informação de PCP reúne dados sobre a variedade de funções de uma organização o que permite a um administrador planejar, fazer seguimento e avaliar as operações e o desempenho da empresa de maneira integral (CASHMORE, 1991). Um sistema de informação de PCP não precisa ser complexo. Deve proporcionar as bases que se requerem para tomar decisões. Os dados que se precisam para o planejamento, seguimento e avaliação se tomarão de diversas fontes.

#### 4.3. CAMINHO DA INFORMAÇÃO

Pelo geral, a informação origina-se nos diferentes "subsistemas" de uma organização, tais como: a infra-estrutura de serviço, o departamento de pessoal, o departamento de finanças, o departamento de administração de fornecimentos, o departamento de infra-estrutura física, etc. A informação chega por meio de vários tipos de registros, entre eles: arquivos, formulários, resumos mensais, relatórios oficiais, enquetes e estudos especiais que são preparados pelo pessoal nos diferentes níveis e departamentos (CASHMORE, 1991).

Se a informação é completa, exata, regular e pode ser integrada, os gerentes poderão determinar se a empresa está conseguindo seus objetivos, se os recursos são utilizados eficiente e apropriadamente e se a organização se encontra no caminho correto para ajudar ao país a atingir seus objetivos socioeconômicos, demográficos, etc. (CASHMORE, 1991).

## 5. COMO DESENVOLVER UM SISTEMA EFETIVO DE PCP

Requer-se um grande esforço, experiência, tempo e dinheiro para criar um sistema de informação de PCP que produza informação integrada e completa. O desenvolvimento ou melhoramento de tal sistema é, geralmente, uma tarefa organizacional de grande envergadura.

No entanto, ainda que a organização não se tenha imposto o compromisso de desenvolver esta tarefa, pode-se realizar uma função importante para melhorar o sistema e cobrir suas necessidades (EARL, 1989). Talvez não seja possível mudar os formulários de registro ou arquivos, mas podem fazer-se mudanças marginais, tais como o melhoramento na exatidão dos dados e a pontualidade das datas de relatório e introduzir medidas que assegurem que se fará o uso mais completo dos dados existentes.

Desta maneira, podem-se fazer melhoras evidentes no sistema de informação de PCP sem que isto represente um grande ônus para a organização. Se o projeto é grande, é provável que se requeira trabalhar estreitamente com o experiente em SI. Em conjunto levarão a cabo os passos necessários para obter uma idéia geral de todo o SI, a maneira em que funciona e o que precisa melhorar-se. Se o projeto de SI é pequeno, o administrador pode responsabilizar-se deste processo (EARL, 1989).

Quando se fala de uma instituição que não tem os recursos humanos com experiência em sistemas de informação de PCP e que deseja organizar ou melhorar seu SI, é válida a ação de solicitar ajuda de pessoas ou organizações que tenham tal experiência ou de um consultor.

É muito provável que estas seguirão uma série de passos para obter uma visão geral do sistema de informação, a maneira como funciona e daí se requer para melhorá-lo. Os resultados de cada passo ajudam a determinar se precisam ser feitas mudanças, bem como que mudanças asseguram que o sistema de informação cobre as necessidades próprias e as do pessoal. Os passos mais importantes são os seguintes (EARL, 1989):

## 5.1. A IMPLANTAÇÃO

### 5.1.1. Necessidades de informação

É necessário considerar as necessidades especiais de informação da organização. Abaixo seguem exemplos de necessidades e as considerações inerentes a cada uma.

- O produto/serviço encontra-se numa fase de desenvolvimento incipiente ou avançada (LAUDON, 1999)? Considerar que:
  - a) Um produto/serviço que acaba de começar, requer informação básica, tal como número de usuários novos e número de usuários regulares, etc.
  - b) Um produto/serviço que chega a todos os membros do grupo objetivo, precisa de informação para avaliar a qualidade dos serviços.
- O produto/serviço é completamente financiado ou os clientes pagam pelos serviços (LAUDON, 1999)? Considerar que:
  - a) Um programa subsidiado, precisa de informação sobre o número de clientes por cada serviço para estabelecer taxas para os reembolsos.
  - b) Um programa no qual os usuários pagam pelos serviços que recebem, precisa de informação sobre todos os custos que têm relação com os serviços para determinar tarifas justas e acessíveis. Quando se cobra pelos serviços, melhora a confiabilidade da informação coletada porque se têm parâmetros diferentes para avaliar tais serviços.
- Considerar o tipo de informação disponível em formulários, registros e arquivos para a tomada de decisões (LAUDON, 1999). Por exemplo:
  - a) Os registros de usuários podem proporcionar informação importante sobre o perfil dos clientes.
  - b) Os arquivos podem dar informação importante sobre usuários novos, ativos e sobre aqueles que mudaram a outro método.
  - c) Informação que não se registra.

- Considerar a informação que se requer e que não se encontra nos registos, arquivos e formulários existentes (LAUDON, 1999). Por exemplo, é possível que:
  - a) Os registos de usuários podem não proporcionar informação a respeito de efeitos secundários e complicações, nem sobre usuários que abandonam o produto/serviço.
  - b) Os registos ou relatórios de supervisão podem não dar informação sobre a qualidade dos serviços prestados.
  - c) Os registos podem não estabelecer distinções entre os usuários ativos e os novos.
  - d) Os formulários utilizados podem não brindar informação oportuna sobre o consumo de produtos o qual é necessário para determinar a quantidade que se precisa e quando se devem solicitar ditos produtos.

#### 5.1.2. Frequência da coleta de informação

Hoje em dia os sistemas de informação foram ganhando terreno que favoreceu o sucesso das empresas, o uso destes sistemas permite manter um melhor controle das principais operações da mesma, como planejamento, organização, direção e controle, já que a adequada administração das mesmas implica em poder tomar melhores decisões que beneficiem à empresa e aos objetivos da mesma.

A tomada de decisões numa empresa é um processo complexo que implica em responsabilidades e riscos que precisam ser assumidos, pelo que é necessário contar com tecnologia de ponta e estar à vanguarda para adaptar as novas técnicas que vão surgindo. Atualmente as empresas grandes contam com tecnologias e sistemas de ponta que lhes permitem tomar decisões de uma maneira mais singela que lhes poupa tempo e que lhes permite avaliar diferentes palcos e daí tomar a melhor decisão de acordo a suas necessidades ou objetivos (OLIVEIRA, 2003).

Lamentavelmente no que se refere às pequenas e micro empresas a situação não é semelhante, já que estas manejam técnicas e procedimentos que utilizaram desde muitos anos atrás, pelo que a implantação de novas tecnologias por estas, resulta em algo bastante difícil, além de que se foram adaptando muito lentamente; é necessário adotar uma nova cultura que adote às novas tecnologias neste terreno, já que as empresas em questão são

um ponto muito importante para o desenvolvimento e benefício não são somente das mesmas senão, em geral, do próprio país (OLIVEIRA, 2003).

Por sua vez, foram refletidos fatores como o estancamento ou negação à mudança e a uma nova cultura empresarial que não permitem a integração de novas tecnologias de informação e em particular dos Sistemas de suporte à decisão.

## 5.2. GESTÃO DA CONFIGURAÇÃO DO SOFTWARE (GCS)

As mudanças dentro do desenvolvimento do software podem ocorrer em qualquer momento, portanto, devemos estar preparados, as atividades de CGS servem para:

- Identificar a mudança de nosso software.
- Controlar essa mudança.
- Garantir que a mudança fique bem implantada.
- Informar a mudança.

A gestão de configuração do software não é uma manutenção do software, a manutenção é a etapa final da engenharia até que se retire o produto da equipe, a CGS é um conjunto de atividades de seguimento e controle que começam quando se inicia o projeto de desenvolvimento do software e termina só uma vez que o software fica fora de circulação (WHITE, 2000).

Infelizmente, no processo de engenharia do software existe uma variável importantíssima que entra em jogo, a *mudança*. A primeira Lei da engenharia de sistemas estabelece: “*Sem importar em que momento do ciclo de vida do sistema nos encontremos, o sistema mudará e o desejo de mudá-lo persistirá ao longo de todo o ciclo de vida*”. (BRETON, 2002).

Então nos fazemos diferentes perguntas: Por que mudar o sistema? O que produz mudanças no sistema? A resposta a estas interrogações pode ser encontrada em quatro aspectos fundamentais e com freqüência muito tradicionais dentro do desenvolvimento do software (BERGAMINI, 1994):

- Novos requisitos do negócio ou condições que ditam as mudanças nas condições do produto ou nas normas comerciais.

- Novas necessidades dos clientes que demandam a modificação dos dados produzidos por um sistema baseado em computador.
- Reorganização e/ou redução do volume comercial que provoca mudanças nas prioridades do projeto ou na estrutura da equipe de engenharia do software.
- Restrições orçamentárias ou de planejamentos que provocam uma redefinição do sistema ou do produto.

A gestão de configuração do software realiza um conjunto de atividades desenvolvidas para gerir e registrar as mudanças ao longo do ciclo de vida do software de computador. A GCS é uma atividade de garantia de qualidade do software que se aplica em todas as fases do processo de engenharia do software (BERGAMINI, 1994).

#### 5.2.1. LINHAS BASE

Uma linha base é um conceito de gestão de configuração do software que nos ajuda a controlar as mudanças sem impedir seriamente as mudanças justificadas. A IEEE define uma linha base como:

Uma especificação ou produto que se revisou formalmente e sobre os quais se chegou a um acordo, e que daí em diante serve como base para um desenvolvimento posterior e que pode mudar-se somente através de procedimentos formais de controle de mudanças. (GASPARINI, 1995).

Uma forma de descrever a linha base é mediante uma analogia. Considere as portas da cozinha de um grande restaurante. Para evitar colisões uma porta está marcada como SAÍDA e a outra como ENTRADA as portas têm topos que fazem que só se possam abrir na direção apropriada. Se um garçom recolhe um pedido na cozinha o coloca numa bandeja e depois se dá conta de que pegou um prato equivocado, pode mudar o prato correto rapidamente informalmente antes de sair da cozinha (CLEMENTE, 1998).

No entanto, caso seja abandonada a cozinha e entregue o prato ao cliente, apenas depois do ocorrido o garçom se informará de seu erro, e deve seguir o seguinte processo (CLEMENTE, 1998):

- 1) Olhar na ordem de pedido se cometeu algum erro.
- 2) Desculpar-se insistentemente.

- 3) Voltar à cozinha.
- 4) Explicar o problema.

Uma linha base é análoga a um prato enquanto passa pelas portas da cozinha de um restaurante antes que um elemento de configuração do software se converta em linha base, pode levar-se a cabo a mudança rápida e informalmente.

No entanto, uma vez que se estabelece uma linha base, passamos, de forma figurada, por uma porta de um único sentido. Podem-se levar a cabo as mudanças, mas se deve aplicar um procedimento formal para avaliar e verificar cada mudança (CLEMENTE, 1998).

No contexto da engenharia do software definimos uma linha base como um ponto de referência no desenvolvimento do software e que fica marcado pelo envio de um ou mais elementos de configuração do software (ECS) e a aprovação de ECS obtido mediante uma revisão técnica formal. Por exemplo, os elementos de uma especificação de desenho se documentam e se revisam. Encontram-se erros e se corrigem quando todas as partes das especificações se revisaram corrigido e aprovado, a especificação de desenho se converte em linha base. Só se podem realizar mudanças futuras na arquitetura do software depois de terem sido avaliados e aprovados (JOBIM FILHO, 1988).

### 5.2.2. ELEMENTO DE CONFIGURAÇÃO DE SOFTWARE

Um elemento da configuração do software é a informação criada como parte do processo de engenharia um ECS (elemento de configuração de software) é um documento, um conjunto completo de casos de prova ou um componente de um programa (HASS, 2002). Os seguintes ECS são o objetivo das técnicas de gestão de configuração um conjunto de linhas base (HASS, 2002):

- 1) Especificação do sistema
- 2) Plano de projeto
- 3) Especificação de requisitos
- 4) Protótipo executável ou “em papel”
- 5) Manual de usuário preliminar

- 6) Especificação de desenhos
  - a. Descrição do desenho de dados
  - b. Descrição do desenho arquitetônico
  - c. Descrições do desenho dos módulos
  - d. Descrições do desenho de interfaces
- 7) Listagens do código fonte
- 8) Plano e procedimento de provas
- 9) Casos de prova e resultados registrados
- 10) Manuais de operação de e de instalação
- 11) Programas executáveis
  - a. Módulos, código executável
  - b. Módulos enlaçados
- 12) Descrição da base de dados
  - a. Esquema e estrutura de arquivos
  - b. Conteúdo inicial
- 13) Manual do usuário final
- 14) Documentos de manutenção
  - a. Relatórios de problemas do software
  - b. Petições de manutenção
  - c. Ordenes de mudanças e engenharia
- 15) Padrões e procedimentos de engenharia do software

É importante considerar pôr as ferramentas de desenvolvimento de software sob controle de configuração. Isto é, congelar as versões de editores, compiladores e outras ferramentas



CASE utilizadas durante o desenvolvimento, uma mudança nas versões utilizadas pode ser que produza resultados diferentes que a versão original (HASS, 2002).

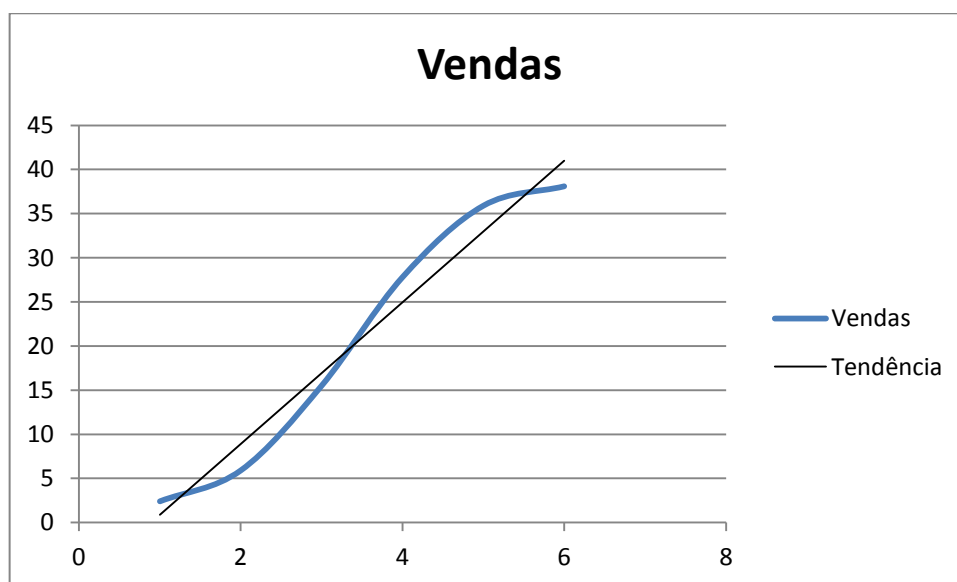
Os ECS se organizam como objetos de configuração que devem ser catalogados pela base de dados do projeto com um nome único (HASS, 2002). Um ECS tem um nome e atributos, e está conectado a outros objetos mediante relações.

## 6. TÉCNICAS PROPOSTAS

### 6.1. Técnicas de Previsão de Vendas

#### 6.1.1. Regressão Linear Simples

É um modelo de previsão, baseado no Método dos Mínimos Quadrados, que procura determinar previsões de valores futuros de séries que sigam alguma forma de tendência, como exibido na Figura 9.



**Figura 9 - Exemplo de uma série de dados com tendência** Fonte: Do Autor

Esta técnica busca ajustar os parâmetros pertinentes para formular uma equação de reta que melhor se aproxime da tendência da série (GUERRINI, 2010). Esta equação é descrita por  $Y = a + bX$ , onde  $X$  são os valores independentes,  $Y$  os valores dependentes e os parâmetros  $a$  e  $b$  são dados pelas fórmulas:

$$a = \frac{\sum x^2 \cdot \sum y - \sum x \cdot \sum x \cdot y}{n \cdot \sum x^2 - (\sum x)^2} ; b = \frac{n \cdot \sum x \cdot y - \sum x \cdot \sum y}{n \cdot \sum x^2 - (\sum x)^2}$$

Onde  $n$  é o número de observações na série. Comumente é escolhido o número máximo de observações disponíveis, porém caso o número disponível de observações seja muito alto, pode ser utilizada como medida uma quantidade de observações menores, ao custo de uma previsão menos precisa.

Finalmente, há o coeficiente de correlação  $r$ , cujo módulo, entre 0 e 1, representa a precisão esperada da reta de previsão. O coeficiente é calculado pela fórmula (GUERRINI, 2010):

$$r = \frac{n \cdot \sum x \cdot y - \sum x \cdot \sum y}{\sqrt{[n \cdot \sum x^2 - (\sum x)^2] \cdot [n \cdot \sum y^2 - (\sum y)^2]}}$$

Assim, a previsão de vendas para o próximo ano por regressão linear simples segue os seguintes passos:

- a) Determinar o número de observações a ser utilizado.
- b) Determinar os coeficientes  $a$  e  $b$ .
- c) Determinar a equação de regressão.
- d) Determinar a previsão de vendas para o próximo ano.
- e) Calcular o coeficiente de correlação.

#### 6.1.1.1. Pseudocódigo Proposto

Considerando-se como entradas do sistema, portanto já conhecidas, o número total de observações  $N$ , os vetores  $X$  e  $Y$ , respectivos aos valores das observações e os seus valores de venda.

```
// CALCULO DAS VARIÁVEIS DE APOIO REFERENTES ÀS SOMATÓRIAS
DE i=1 PARA i=N FAÇA
INICIO
    SOMA_X = SOMA_X + X[i];
    SOMA_X_ELEVADO = SOMA_X_ELEVADO + (X[i])^2;
    SOMA_Y = SOMA_Y + Y[i];
    SOMA_Y_ELEVADO = SOMA_Y_ELEVADO + (Y[i])^2;
    SOMA_XY = SOMA_XY + (X[i])*(Y[i]);
FIM

// CALCULO DOS PARÂMETROS a e b DA RETA DE TENDÊNCIA
a = [(SOMA_X_ELEVADO * SOMA_Y) - (SOMA_X * SOMA_XY)] /
    [N * SOMA_X_ELEVADO - (SOMA_X ^ 2)];
b = [(N * SOMA_XY) - (SOMA_X * SOMA_Y)] /
    [N * SOMA_X_ELEVADO - (SOMA_X ^ 2)];
```

```
// CALCULO DO VALOR DA PREVISÃO, S, PARA O PRÓXIMO PERÍODO E DO COEFICIENTE DE PRECISÃO
```

```
S = a + b*(N+1);
```

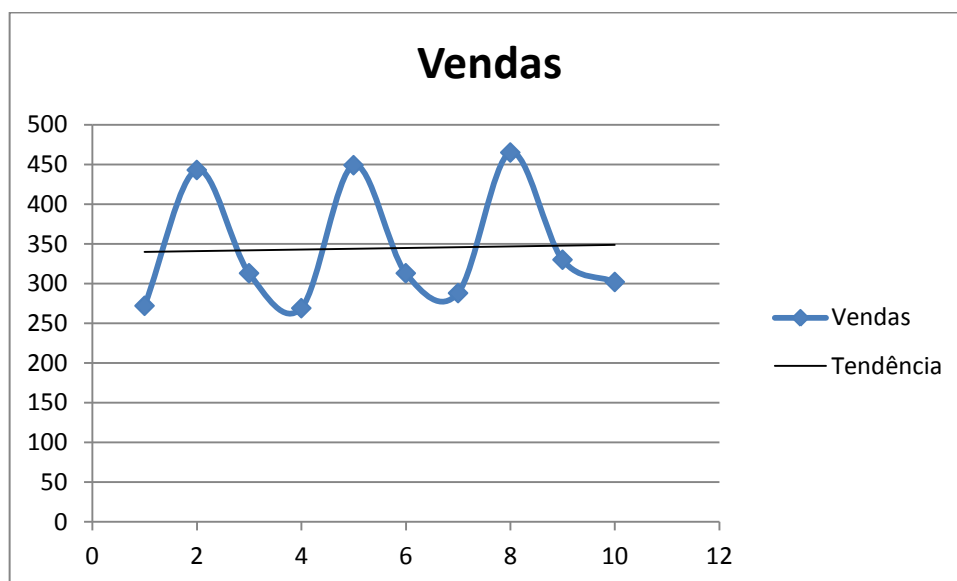
```
C_P = [(N * SOMA_XY) - (SOMA_X * SOMA_Y)] /
```

```
RAIZ{[N * SOMA_X_ELEVADO - (SOMA_X ^ 2)] * [N * SOMA_Y_ELEVADO - (SOMA_Y ^ 2)]};
```

### Código 1 - Pseudocódigo para a aplicação de uma Regressão Linear Simples

#### 6.1.2. Regressão Linear Corrigida Pelo Fator de Sazonalidade

Uma sazonalidade pode acontecer devido a datas especiais ou caso o produto em questão esteja relacionado a determinadas épocas, como produtos com vendas maiores em feriados específicos ou em certas estações do ano. Nestes casos, se somente a tendência for considerada, através do método da Regressão Linear Simples, o resultado poderá diferir muito da previsão correta caso a previsão seja feita para um momento de alta ou baixa causada pela sazonalidade, como pode ser observado na Figura 10. (GUERRINI, 2010)



**Figura 10 - Exemplo de uma série de dados sazonais, com tendência** Fonte: Do Autor

Para evitar estas ocorrências, o modelo de regressão deve considerar também a sazonalidade (GUERRINI, 2010), para calcular a previsão mais próxima por meio da relação entres estes. Assim, se partirmos da fórmula da reta de tendência,  $S_t = a + bT$ , para adaptar a previsão para este modelo devemos inserir o cálculo do Fator de Sazonalidade,  $F_t = \frac{D_t}{S_t}$ , para finalmente chegar à Previsão de Venda,  $P_t = S_t \cdot F_t$ .

Assim, a previsão de vendas para o próximo período por regressão linear corrigida pelo fator de sazonalidade segue os seguintes passos:

- a) Determinar o número de observações a ser utilizado.
- b) Determinar os coeficientes  $a$  e  $b$ .
- c) Determinar a equação de regressão linear simples.
- d) Determinar a previsão de vendas para o próximo ano, de acordo com o fator de sazonalidade pertinente. A escolha deste fator pode ser feita por meio de média de um número de fatores no mesmo período ou apenas a utilização do último fator deste mesmo período.

#### 6.1.2.1. Pseudocódigo Proposto

Para este algoritmo, é usado como ponto de partida o algoritmo **Erro! Fonte de referência não encontrada.** e os valores que são calculados no mesmo, renomeando os vetores  $X$  e  $Y$  para  $T$  e  $D$ , e uma nova variável  $P$ , correspondente à quantidade de períodos da sazonalidade.

```
// CALCULO DO FATOR DE SAZONALIDADE, CONSIDERANDO ESTE IGUAL AO MESMO FATOR DA REPETIÇÃO PERIÓDICA ANTERIOR
F = D(N-P+1) / S(N-P+1);

// CALCULO DA DEMANDA PREVISTA NO PRÓXIMO PERÍODO, A PARTIR DA PREVISÃO LINEAR E DO FATOR DE SAZONALIDADE
D_PREVISTA = S * F;
```

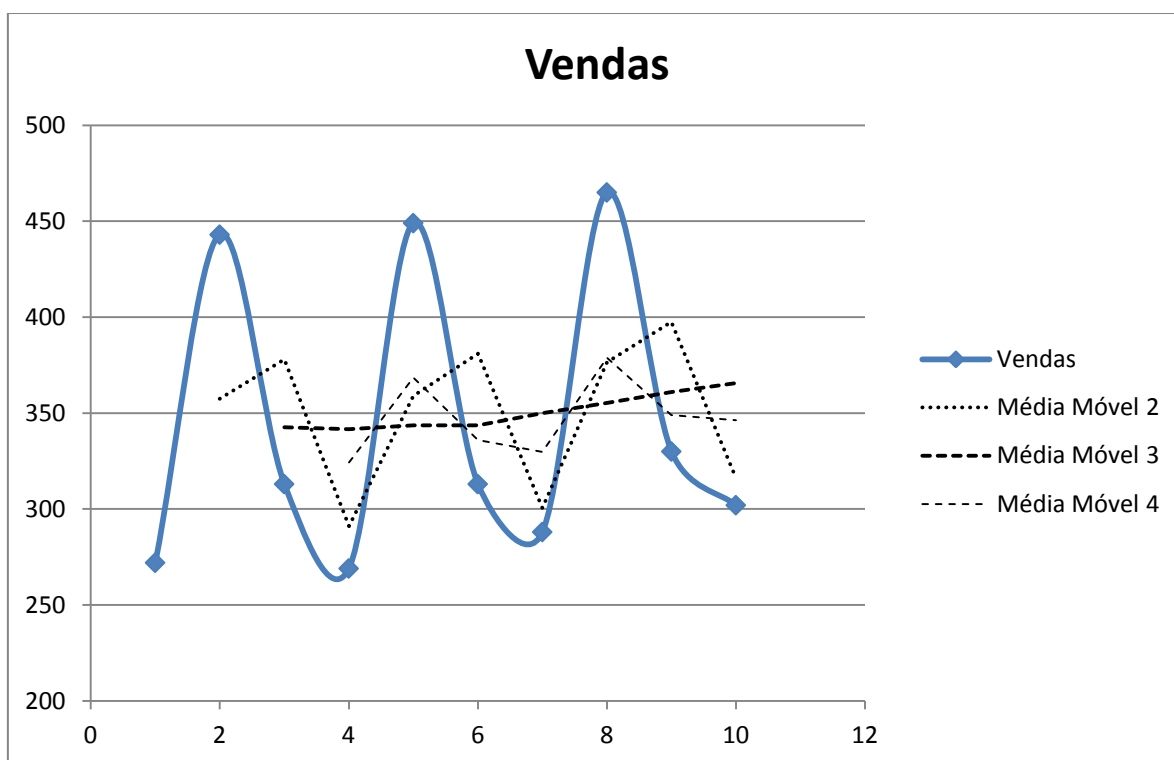
#### **Código 2 - Pseudocódigo proposto para a aplicação de uma Regressão Linear Corrigida Pelo Fator De Sazonalidade**

#### 6.1.3. Média Móvel Simples

Diferentemente dos métodos anteriores, o método da média móvel é aplicado sobre séries estacionárias, ou seja, que não apresentam tendência de crescimento ou diminuição (GUERRINI, 2010). Esta previsão é feita de maneira simples, a partir da média das últimas  $n$  observações da série, como define a fórmula a seguir:

$$P_t = \frac{\sum_{i=1}^n x_{t-i}}{n}$$

Este método é de fácil aplicação, porém o valor de  $n$  pode variar, com o intuito de procurar a melhor aproximação possível (GUERRINI, 2010), como pode ser observado na Figura 11. Quanto maior o período escolhido, mais suave será o comportamento da média e menor será a susceptibilidade a movimentos curtos, porém com o risco de respostas mais lentas a mudanças significativas no mercado caso o período escolhido seja muito grande. Analogamente, quanto menor o período escolhido, mais próximos aos valores medidos estarão os valores da média, com o risco de exposição excessiva às variações, perdendo a eficiência como ferramenta de previsão.



**Figura 11 - Exemplo de uma série de dados estacionária, com múltiplas médias móveis** Fonte: Do Autor

#### 6.1.3.1. Pseudocódigo Proposto

Tomando como entradas já conhecidas os valores dos parâmetros  $N$  (numero total de observações) e  $E$  (média máxima porcentual dos erros, em forma numérica), e o vetor  $D$  das demandas. Inicialmente é programado o algoritmo de um vetor dos valores da média móvel com período  $n$  no momento  $t$ :

```

PREVISÃO(t,n) = 0
DE i=1 ATÉ i=n FAÇA
  INICIO
    PREVISÃO(t,n) = PREVISÃO(t,n) + [D(i)/n];
  FIM
FIM

```

**Código 3 - Pseudocódigo para a aplicação de uma Média Móvel Simples**

Com estes valores em mão o valor da previsão final pode ser calculado:

```

DE n=2 ATÉ n=N FAÇA
  INICIO
    SOMA_ERROS = 0;
    DE t=n ATÉ t=N FAÇA
      INICIO
        SOMA_ERROS = SOMA_ERROS + MODULO[PREVISAO(t,n) - D(i)] ;
      FIM
    MEDIA_DOS_ERROS = SOMA_ERROS / (N-n+1);
    SE (MEDIA_DOS_ERROS <= E )
      INICIO
        MELHOR_MEDIA = n;
      FIM
    FIM
  FIM

PREVISAO_FINAL = PREVISAO(N+1, MELHOR_MEDIA);

```

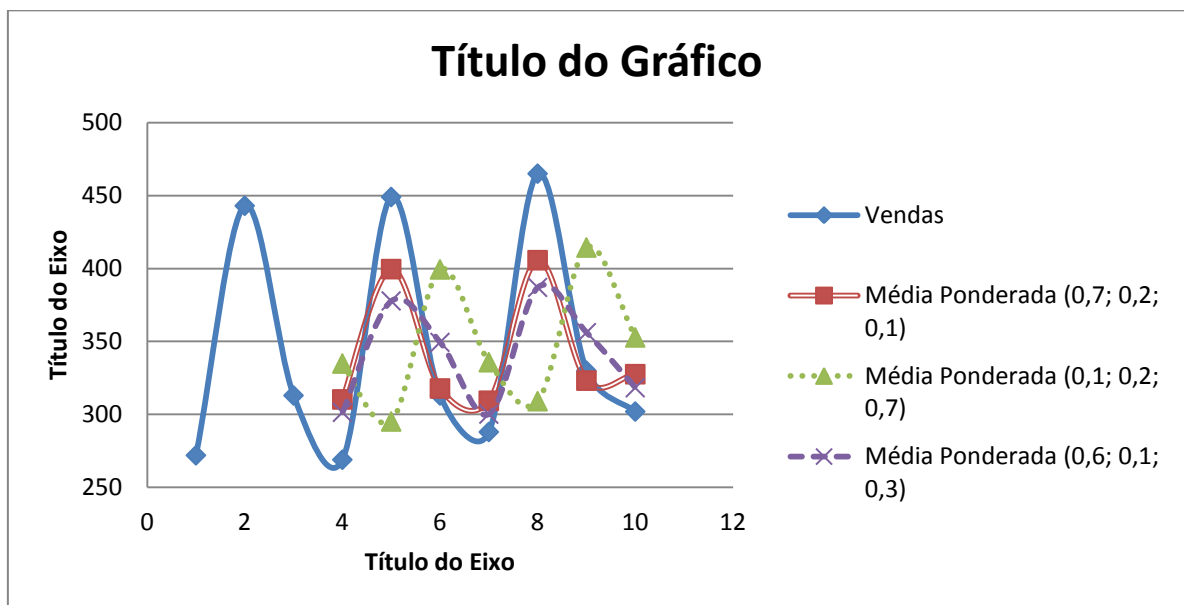
**Código 4 - Pseudocódigo para a previsão final de uma Média Móvel Simples**

#### 6.1.4. Média Móvel Ponderada

Semelhante á média móvel simples, porém neste método são atribuídos a cada período pesos diferenciados, para compensar e introduzir na previsão mudanças cíclicas nos valores observados, semelhantemente a uma sazonalidade (GUERRINI, 2010). Para tanto, são introduzidas alterações na equação da média móvel anterior, na forma dos pesos  $p$ , resultando na fórmula:

$$P_t = \frac{\sum_{i=1}^n p_i \cdot x_{t-i}}{\sum_{i=1}^n p_i}$$

Adicionalmente à escolha do número de períodos, agora devem ser cuidadosamente escolhidos também os devidos pesos para cada observação. Se utilizarmos o exemplo visto na Figura 12, vemos que foi escolhida uma média de período 3, devido ao padrão encontrado nas observações, a partir da qual foram calculadas projeções baseadas em diferentes pesos.



**Figura 12 - Exemplo de uma série de dados estacionária, com múltiplas médias ponderadas**

Fonte: Do Autor

#### 6.1.4.1. Pseudocódigo Proposto

Para este algoritmo, é usado como ponto de partida o algoritmo **Erro! Fonte de referência não encontrada.**, suas entradas e o valor MELHOR\_MÉDIA calculado no mesmo. Inicialmente é definido o modelo da previsão, que funciona de maneira encadeada:

```
PREVISÃO(t,n) = 0;
SOMA_DOS_PESOS = 0;
DE i=1 ATÉ i=n FAÇA
INICIO
    SOMA_DOS_PESOS = SOMA_DOS_PESOS + PESO(i);
FIM
```



```

DE i=1 ATÉ i=n FAÇA
INICIO
    PREVISÃO(t,n) = PREVISÃO(t,n) + [PESO(i)*D(i)/ SOMA_DOS_PESOS];
FIM

```

#### **Código 5 - Pseudocódigo para a aplicação de uma Média Móvel Ponderada**

Considerando uma função já conhecida para redefinir os valores do vetor PESO, o algoritmo de otimização será:

```

ENQUANTO (MEDIA_DOS_ERROS > E )
INICIO
    SOMA_ERROS = 0;
    REDEFINIR_PESOS(PESO[]);
    DE t=n ATÉ t=N FAÇA
    INICIO
        SOMA_ERROS = SOMA_ERROS + MODULO[PREVISAO(t, MELHOR_MEDIA) - D(i)] ;
    FIM
    MEDIA_DOS_ERROS = SOMA_ERROS / (N-n+1);
FIM

```

#### **Código 6 - Pseudocódigo de otimização para uma Média Móvel Ponderada**

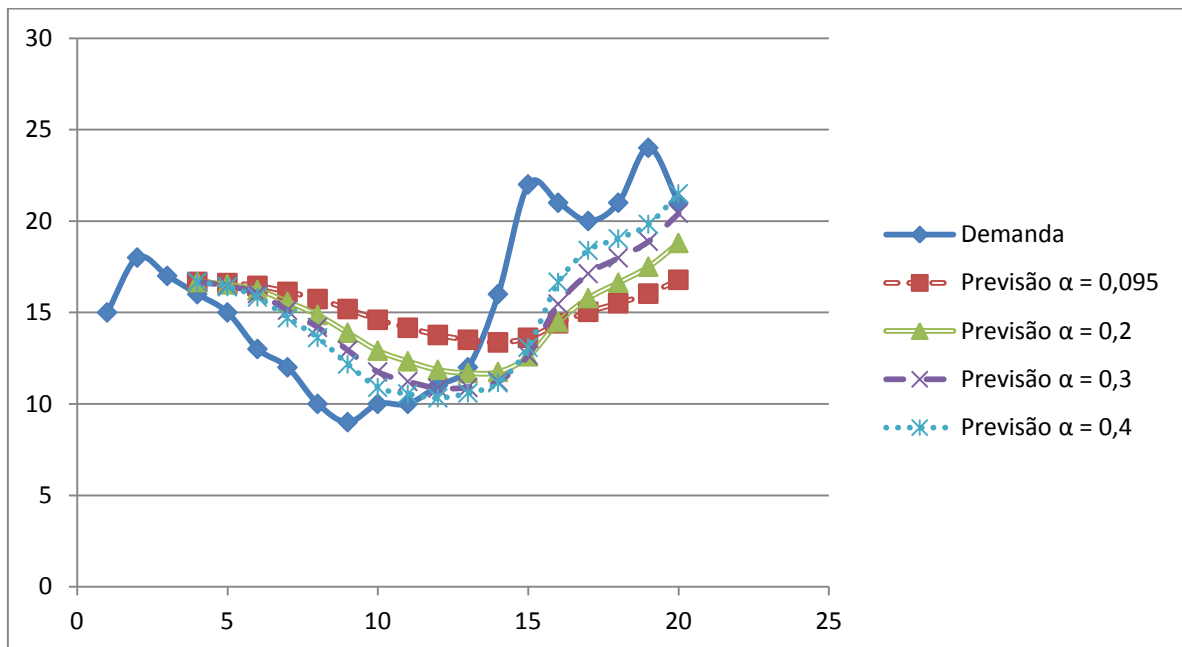
##### **6.1.5. Média Móvel Ponderada Exponencialmente**

Terceiro método utilizando médias móveis, assemelha-se à média móvel ponderada por utilizar pesos diferentes para cada observação, mas não associa valores pré-definidos aos pesos, substituindo tal técnica por atribuições de pesos maiores para observações mais recentes, controlando estas atribuições por meio de um único peso  $\alpha$ , que varia entre 0 e 1 e representa a fração do erro incorporada a cada novo período (GUERRINI, 2010).

Diferentemente da média móvel ponderada, esta projeção é mais aconselhável onde a média se apresenta estável por certos períodos de tempo até que sofre uma alteração mais brusca e se estabiliza novamente em um novo nível (GUERRINI, 2010). Para este método, é utilizada a equação  $P_t = P_{t-1} + \alpha \cdot (D_{t-1} - P_{t-1})$ , onde  $P_t$  e  $D_t$  são a previsão e a demanda no período  $t$ , respectivamente. Assim, nota-se que a previsão pode ser utilizada com qualquer número de termos anteriores e resultará, após algumas manipulações, na seguinte equação:

$$P_t = \left[ \sum_{i=0}^{n-1} \alpha \cdot (1 - \alpha)^i \cdot D_{t-i} \right] + (1 - \alpha)^n \cdot D_{t-(n-1)}$$

Uma nova decisão que é inserida nesta projeção é a escolha do valor de  $\alpha$ . Empiricamente, foram estabelecidos os limites  $0,01 \leq \alpha \leq 0,4$ , com sugestões de valores iniciais de  $\alpha$  podendo ser  $\alpha = 0,1$  ou  $\alpha = \frac{2}{(N+1)}$ , onde N é o número de observações disponíveis. Adicionalmente, este método precisa de um valor inicial, que pode ser calculado a partir de qualquer heurística, como base a partir da qual as projeções serão calculadas. A Figura 13 é um exemplo deste tipo de projeção, com diferentes valores de  $\alpha$  e partindo de uma média móvel 3 como ponto inicial.



**Figura 13 - Exemplo de uma série de dados estacionária, com múltiplas médias ponderadas exponencialmente** Fonte: Do Autor

#### 6.1.5.1. Pseudocódigo Proposto

Para este algoritmo, é usado como ponto de partida o algoritmo **Erro! Fonte de referência não encontrada.**, suas entradas e o valor MELHOR\_MÉDIA calculado no mesmo. Inicialmente é definido o modelo da previsão, que funciona de forma recursiva:

```
SE (t > MELHOR_MÉDIA )
INICIO
```

```

    PREVISÃO(t) = a*D(t-1) + (1-a)*PREVISÃO(t-1);
FIM
SE (t <= MELHOR_MEDIA)
INICIO
    PREVISAO_INICIAL = 0;
    DE i=1 ATÉ i=t FAÇA
    INICIO
        PREVISAO_INICIAL = PREVISAO_INICIAL + [D(i)/t];
    FIM
    PREVISAO(t) = PREVISAO_INICIAL;
FIM

```

**Código 7 - Pseudocódigo para a aplicação de uma Média Móvel Ponderada Exponencialmente**

Considerando a variável 'a' como o valor de  $\alpha$  e assumindo uma função já conhecida para redefinir este valor, o algoritmo de otimização será:

```

a = 2 / (N+1);
ENQUANTO (MEDIA_DOS_ERROS > E )
INICIO
    SOMA_ERROS = 0;
    DE t=n ATÉ t=N FAÇA
    INICIO
        SOMA_ERROS = SOMA_ERROS + MODULO[PREVISAO(t, MELHOR_MEDIA) - D(i)] ;
    FIM
    REDEFINIR_ALFA(a);
    MEDIA_DOS_ERROS = SOMA_ERROS / (N-n+1);
FIM

```

**Código 8 - Pseudocódigo para a otimização de uma Média Móvel Ponderada Exponencialmente**

## 6.2. Técnicas de Plano de Recursos

### 6.2.1. Método Canto Noroeste

A modelagem de um plano de recursos permite obter a solução ótima de um modelo que pode incorporar vários custos diferentes (GUERRINI, 2010), como custos de fabricação, estocagem, hora-homem, hora-maquina, etc.

Dentre estes modelos, o mais simples é o definido pela Regra Canto Noroeste, que tem como objetivo a facilidade de modelagem, em detrimento das considerações de custo (GUERRINI, 2010). Partindo do quadro de custos, como visto na Figura 14, é utilizada como variável inicial a variável situada no canto superior esquerdo, neste caso a variável  $x_{11}$ .

Destino Origem	1	2	3	4	Oferta
1	$x_{11}$ 1	$x_{12}$ 2	$x_{13}$ 3	$x_{14}$ 4	6
2	$x_{21}$ 4	$x_{22}$ 3	$x_{23}$ 2	$x_{24}$ 4	8
3	$x_{31}$ 0	$x_{32}$ 2	$x_{33}$ 2	$x_{34}$ 1	10
Procura	4	7	6	7	24=24

**Figura 14 - Quadro de custos do plano de recursos** (Fonte:

[HTTP://www2.mat.ua.pt/io/Documentos/Acetatos/CapituloII\\_7\\_2.pps](HTTP://www2.mat.ua.pt/io/Documentos/Acetatos/CapituloII_7_2.pps))

Partindo da variável inicial, é encontrado o mínimo entre os valores atuais de oferta e procura da mesma linha e coluna que a variável, respectivamente. A variável movida então de acordo com o mínimo encontrado e são recalculados os valores de oferta e procura. Desta maneira é construído o ciclo do Método Canto Noroeste, repetido sucessivamente até serem traçadas todas as linhas e colunas, como visto na Figura 15.

1º. $x_{11} = \min(4, 6) = 4$		6	2
2º. $x_{12} = \min(7, 2) = 2$		8	3
3º. $x_{22} = \min(5, 8) = 5$		10	7
4º. $x_{23} = \min(6, 3) = 3$			
5º. $x_{33} = \min(3, 10) = 3$			
6º. $x_{34} = \min(7, 7) = 7$			

**Figura 15 - Quadro de custos resolvido pelo método Canto Noroeste** (Fonte:

[HTTP://www2.mat.ua.pt/io/Documentos/Acetatos/CapituloII\\_7\\_2.pps](HTTP://www2.mat.ua.pt/io/Documentos/Acetatos/CapituloII_7_2.pps))

### 6.2.1.1. Pseudocódigo Proposto

Tomando como entradas já conhecidas os vetores O e P, com os valores das ofertas e procuras de cada ponto de origem e destino, seus tamanhos 'o' e 'p', e também assumindo como entrada a matriz de custos X, aplicamos este método de acordo com o algoritmo abaixo:

```

i = 1;
j = 1;
CUSTO = 0;
ENQUANTO (i <= o OU j <= p )
INICIO
    MINIMO = MINIMO[OFERTA(i),PROCURA(j)];
    CUSTO = CUSTO + PREÇO(i,j) * MINIMO;
    SE (MINIMO = OFERTA(i))
    INICIO
        OFERTA(i) = OFERTA(i) – MINIMO;
        PROCURA(j) = PROCURA(j) - MINIMO;
        i = i +1;
    FIM
    SE (MINIMO = PROCURA(j))
    INICIO
        OFERTA(i) = OFERTA(i) – MINIMO;
        PROCURA(j) = PROCURA(j) - MINIMO;
        j = j+1;
    FIM
FIM
CUSTO FINAL = CUSTO;

```

**Código 9 - Pseudocódigo para a aplicação do método Canto Noroeste**

## 6.3. Técnicas de Administração de Estoque

### 6.3.1. Lote Econômico de Compra

O Lote Econômico de Compra é o modelo usado como base para determinar o intervalo de tempo entre pedidos (GUERRINI, 2010). Sua equação, exibida abaixo, é obtida a partir da equação do custo total e procura determinar o tamanho de cada pedido para atingir o custo mínimo agregado entre as operações de armazenamento e pedido de estoque.

$$Q_E = \sqrt{\frac{2 \cdot \lambda \cdot C_p}{C_a}}$$

Na equação acima,  $Q_E$  é a quantidade do pedido do lote econômico,  $\lambda$  representa a demanda no período calculado,  $C_p$  é o custo de realização de pedido e  $C_a$  é o custo de armazenagem no período. O cálculo do custo total  $CT$  é realizado pelas equações abaixo, onde  $C_p$  é o custo total de pedidos e  $C_E$  é o custo total de estocagem.

$$C_p = \frac{\lambda \cdot C_p}{Q} ; C_E = \frac{Q \cdot C_a}{2}$$

$$CT = C_p + C_E$$

A partir destas equações, podem ser calculados os custos totais utilizando o lote econômico de compra e a quantidade padrão de pedidos, para comparar a diferença entre custos de cada modelo e realizar a decisão (GUERRINI, 2010).

#### 6.3.1.1. Pseudocódigo Proposto

Considerando já conhecidos os valores dos termos  $Q$ , quantidade atual de pedido,  $LAMBDA$ , demanda no período calculado,  $C_P$ , custo de realização de pedido e  $C_A$ , custo de armazenagem no período, o cálculo do lote econômico de compra,  $LEC$ , e da diferença entre os custos,  $D$ :

```
LEC = RAIZ(2*LAMBDA*C_P/C_A);
CUSTO_PEDIDO_ATUAL = LAMBDA * C_P / Q;
CUSTO_PEDIDO_LEC = LAMBDA * C_P / LEC;
CUSTO_ESTOCAGEM_ATUAL = Q * C_A / 2;
CUSTO_ESTOCAGEM_LEC = LEC * C_A / 2;

CUSTO_TOTAL_ATUAL = CUSTO_PEDIDO_ATUAL + CUSTO_ESTOCAGEM_ATUAL;
CUSTO_TOTAL_LEC = CUSTO_PEDIDO_LEC + CUSTO_ESTOCAGEM_LEC;

D = CUSTO_TOTAL_ATUAL - CUSTO_TOTAL_LEC;
```

#### **Código 10 - Pseudocódigo para o cálculo do Lote Econômico de Compra**

#### 6.3.2. Reposição Periódica de Estoques

Nesta técnica é realizado o dimensionamento do estoque, a partir de intervalos de tempo constantes entre os pedidos de reposição de estoque e quantidades variáveis a cada reposição (GUERRINI, 2010).

O período de tempo é estabelecido com o intuito de receber uma quantidade igual ou próxima do lote econômico de compra. Chamado de  $T_E$ , este período é obtido a partir do valor  $Q_E$  do lote econômico de compra visto anteriormente:

$$T_E = \frac{Q_E}{\lambda}$$

Realizando os pedidos em períodos próximos a este período econômico calculado, haverá baixo acréscimo no custo em cada pedido. Similarmente, o mesmo acontece com os valores econômicos de estoque mínimo e lote de compra (GUERRINI, 2010). Assim, os pedidos são realizados pensando em quantidades  $Q + q$  (lote econômico acrescido de uma possível variação) que devem durar durante um tempo  $T + t$  (período econômico acrescido do tempo de recebimento do pedido), e considerando também o estoque de reserva  $ER$ , utilizado para proteger de possíveis variações bruscas de demanda durante pedidos. Desta forma, a quantidade  $M$  do pedido é dada por  $M = \lambda \cdot (T_E + t) + ER$ .

#### 6.3.2.1. Pseudocódigo Proposto

Considerando já conhecidos os valores dos termos  $Q$ , lote econômico de compra (calculado no algoritmo **Erro! Fonte de referência não encontrada.**),  $LAMBDA$ , demanda no período calculado,  $t$ , tempo de recebimento do pedido,  $ER$ , estoque de reserva, o cálculo do período econômico de compra,  $T$ , e da quantidade do pedido,  $M$ :

```
T = Q / LAMBDA;
```

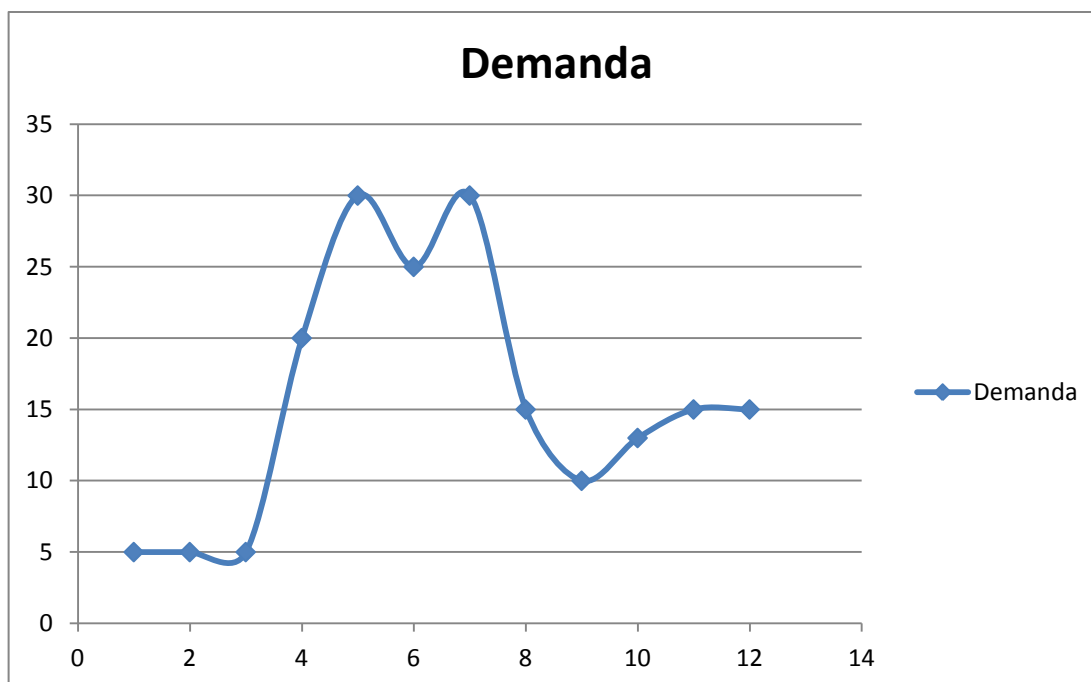
```
M = LAMBDA * (T + t) + ER;
```

#### Código 11 - Pseudocódigo para o cálculo da Reposição Periódica de Estoques

#### 6.3.3. Método Silver Meal

O Método Silver Meal relaciona as alternativas de compra nos próximos períodos e escolhe a opção com o menor custo por período (GUERRINI, 2010). Este modelo realiza a análise

de compra considerando semana a semana, deduzindo qual a quantidade de compra mais econômica, e então repetindo o mesmo cálculo para as semanas seguintes. Esta heurística é utilizada em casos nos quais a demanda apresenta flutuações em seu comportamento, como visto na Figura 16, situação na qual o lote econômico de compra não é recomendável (GUERRINI, 2010).



**Figura 16 - Exemplo de um gráfico de demanda apresentando flutuação** Fonte: Do Autor

Para os cálculos do método Silver Meal, utilizam-se os custos de armazenamento para cada medida de período,  $C_a$ , e o custo fixo da realização do pedido,  $C_p$ . A partir destes e do estoque mantido ao longo do período atendido,  $E$ , são calculados, para cada período  $t$  o custo periódico de armazenagem,  $C_A$ , o custo total,  $CT$ , e o custo periódico,  $C_t$ , de acordo com as equações abaixo:

$$C_A = C_a \cdot E ; CT = C_A + C_p ; C_t = \frac{CT}{t}$$

Após calcular todos os custos periódicos, localiza-se o menor dos custos periódicos e é assim definida a primeira compra. Este ciclo então se repete para os períodos restantes até que todas as compras sejam definidas (GUERRINI, 2010).



### 6.3.3.1. Pseudocódigo Proposto

Considerando já conhecidos os valores dos termos  $C_P$ , custo de realização de pedido e  $C_A$ , custo de armazenagem no período, e  $N$ , número de períodos atendidos, e do vetor de valores de demanda  $D$ , e considerando já existente a função  $E(p,P)$  que calcula o estoque acumulado em um período  $P$  partindo do período  $p$ , a heurística Silver Meal pode ser definida pelos algoritmos abaixo. Primeiro, é utilizado um algoritmo para definir o período de menor custo total parcial:

```

DE t=p ATÉ t=N FAÇA
INICIO
    CUSTO_TOTAL = C_A * ESTOQUE(p,t) + C_P;
    CUSTO_PARCIAL = CUSTO_TOTAL / t;

    SE (t=p)
    INICIO
        MENOR_CUSTO = CUSTO_PARCIAL;
        MENOR_PERIODO = p;
    FIM

    SE (CUSTO_PARCIAL < MENOR_CUSTO)
    INICIO
        MENOR_CUSTO = CUSTO_PARCIAL;
        MENOR_PERIODO = t;
    FIM
FIM

```

**Código 12 - Pseudocódigo auxiliar para a aplicação do método Silver Meal**

Utilizando esta função auxiliar, chegamos ao algoritmo final, no qual é calculado o vetor dos períodos nos quais serão realizados os pedidos:

```

i = 1;
p=1;
PERIODO[i] = MENOR_PERIODO(p);
i = i + 1;
p = MENOR_PERIODO(p) + 1;

ENQUANTO (p < N)
INICIO

```

```

PERIODO[i] = MENOR_PERIODO(p);

i = i + 1;

p = MENOR_PERIODO(p) + 1;

FIM

```

### **Código 13 - Pseudocódigo para a aplicação do método Silver Meal**

## **6.4. Técnicas de Programação de Atividades,**

### **6.4.1. Regra de Johnson para duas Máquinas**

Esta técnica procura encontrar a solução ótima para a ordem de atividades em dois centros de trabalho distintos, primeiro na máquina 1 e em sequência na máquina 2, de modo a minimizar não apenas o tempo total de realização de atividades, mas consequentemente minimizar também a quantidade e duração de períodos ociosos nas máquinas (GUERRINI, 2010).

Para isto, é utilizado um ciclo simples, porém eficiente, de escolhas, no qual é localizada a atividade com menor tempo de execução entre as atividades disponíveis. Caso o tempo de execução encontrado seja realizado na máquina 1, é atribuída a essa atividade a menor posição disponível na fila (1ª, 2ª, 3ª posições, ...). Caso contrário, essa atividade é posicionada de maneira inversa, decrescente, na maior posição disponível ( $n^a$ ,  $(n-1)^a$ ,  $(n-2)^a$  posição, ...). Um exemplo da aplicação da Regra de Johnson para duas Máquinas pode ser observado na Tabela 2.

**Tabela 2 - Exemplo de aplicação da Regra de Johnson para duas Máquinas (GUERRINI, 2010)**

<b>ATIVIDADE</b>	<b>TEMPO NA MÁQUINA 1</b>	<b>TEMPO NA MÁQUINA 2</b>	<b>POSICÃO NA FILA</b>
A	17	7	6
B	42	12	5
C	10	25	1
D	12	32	2
E	22	42	4
F	20	24	3

#### 6.4.1.1. Pseudocódigo Proposto

Considerando já conhecidos os valores dos termos N, número de atividades planejadas, e do vetor de valores de tempo nas máquinas 1 e 2, respectivamente M1 e M2, a regra de Johnson para duas máquinas, resultante no vetor de ordem de realização, será descrita pelo algoritmo abaixo:

```

inicio = 1;
final = N;
tamanho = N

ENQUANTO (inicio < final)
INICIO
    MINIMO_M1 = M1[1];
    ATIVIDADE_M1 = 1;

    MINIMO_M2 = M2[1];
    ATIVIDADE_M2 = 1;

    DE i=2 ATÉ i=tamanho FAÇA
    INICIO
        SE (M1[i] < MINIMO_M1)
        INICIO
            MINIMO_M1 = M1[i];
            ATIVIDADE_M1 = i;
        FIM
        SE (M2[i] < MINIMO_M2)
        INICIO
            MINIMO_M2 = M2[i];
            ATIVIDADE_M2 = i;
        FIM
    FIM

    SE (MINIMO_M1 <= MINIMO_M2)
    INICIO
        ORDEM[inicio] = ATIVIDADE_M1;
        DE i=ATIVIDADE_M1+1 ATÉ i=tamanho FAÇA
        INICIO
            M1[i-1] = M1[i];
            M2[i-1] = M2[i];
        FIM
        inicio = inicio + 1;
        tamanho = tamanho-1;
    FIM

```

```

FIM

SE (MINIMO_M1 <= MINIMO_M2)
INICIO
    ORDEM[final] = ATIVIDADE_M2;
    DE i=ATIVIDADE_M2+1 ATÉ i=tamanho FAÇA
    INICIO
        M1[i-1] = M1[i];
        M2[i-1] = M2[i];
    FIM
    final = final - 1;
    tamanho = tamanho-1;
FIM
FIM

```

**Código 14 - Pseudocódigo para a aplicação da Regra de Johnson para duas máquinas**

#### 6.4.2. Regra de Johnson para três Máquinas

Semelhante à Regra de Johnson para duas Máquinas, neste caso cada atividade deve passar sequencialmente por três centros de trabalho distintos, com diferentes tempos de execução em cada um deles, como pode ser visto na Tabela 3.

**Tabela 3 - Tempos de execução de atividade em uma linha com três máquinas**

ATIVIDADE	TEMPO NA MÁQUINA 1	TEMPO NA MÁQUINA 2	TEMPO NA MÁQUINA 3
A	19	8	27
B	28	15	39
C	37	8	22
D	22	13	37
E	12	17	24
F	28	10	18

Para aplicar esta nova regra, as três máquinas são abstraídas em duas máquinas (GUERRINI, 2010), somando a segunda máquina e seus tempos às máquinas 1 e 3, e utilizando estas duas novas máquinas de acordo com a Regra de Johnson para duas Máquinas, como visto na Tabela 4.

Tabela 4 - Exemplo de aplicação da Regra de Johnson para três Máquinas

ATIVIDADE	TEMPO NAS MÁQUINAS 1 E 2	TEMPO NAS MÁQUINAS 2 E 3	POSIÇÃO NA FILA
A	27	35	1
B	43	54	4
C	45	30	5
D	35	50	3
E	29	41	2
F	38	28	6

Este método, porém, possui certas limitações, e por isso apenas pode ser aplicado caso uma regra seja atendida: O menor tempo de atividade na máquina 1 ou 3 não deve ser mais curto que o maior tempo de atividade na máquina 2. Caso o menor tempo de ambas as máquinas não tenham ao menos a mesma duração que o maior tempo de atividade na máquina 2, esta regra não poderá ser aplicada.

#### 6.4.2.1. Pseudocódigo Proposto

Para a Regra de Johnson para três Máquinas, partimos do suposto que o algoritmo da **Erro! Fonte de referência não encontrada.**, que poderá ser chamado como se fosse uma função  $RJ(M1, M2)$ . Assim como na **Erro! Fonte de referência não encontrada.**, assumem-se conhecidos os vetores de tempo de execução  $M1$ ,  $M2$  e  $M3$ , e a quantidade  $N$  de atividades planejada. Aplicamos então o algoritmo abaixo:

```

MINIMO_M1 = M1[1];
MAXIMO_M2 = M2[1];
MINIMO_M3 = M3[1];
M_12[1] = M1[1] + M2[1];
M_23[1] = M2[1] + M3[1];

DE i=2 ATÉ i=N FAÇA
  INICIO
    M_12[i] = M1[i] + M2[i];
    M_23[i] = M2[i] + M3[i];

    SE (M1[i] < MINIMO_M1)
      INICIO

```

```
        MINIMO_M1 = M1[i];  
  
    FIM  
  
    SE (M2[i] > MAXIMO_M2)  
    INICIO  
        MAXIMO_M2 = M2[i];  
  
    FIM  
  
    SE (M3[i] < MINIMO_M3)  
    INICIO  
        MINIMO_M3 = M3[i];  
  
    FIM  
FIM  
  
SE ( (MINIMO_M1 > MAXIMO_M2) E (MINIMO_M3 > MAXIMO_M2) )  
INICIO  
    ERRO("Parâmetros mínimos não atendidos");  
FIM  
  
ORDEM = RJ(M_12, M_23);
```

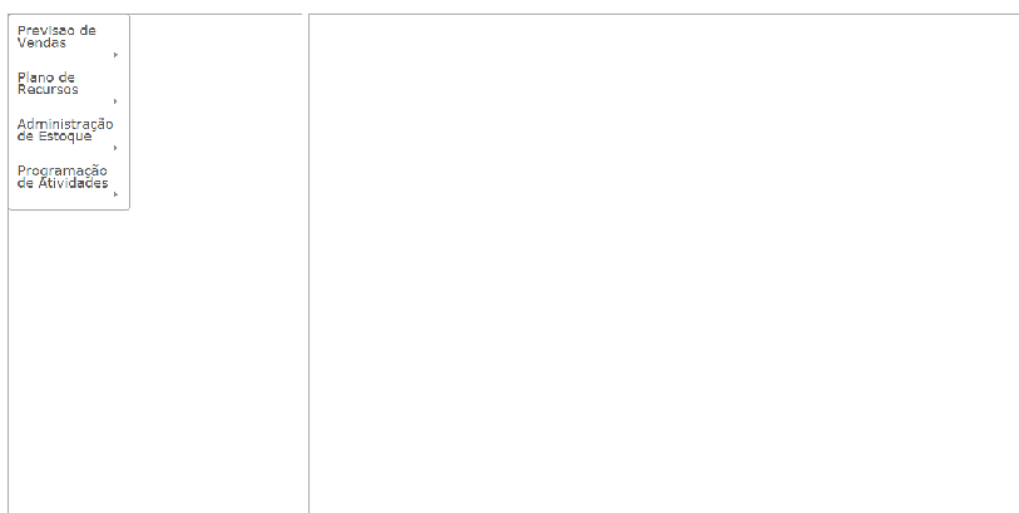
**Código 15 - Pseudocódigo para a aplicação da Regra de Johnson para três máquinas**

## 7. SISTEMA PCPWeb

Partindo dos pseudocódigos propostos neste trabalho, foi planejado um programa de auxílio ao aprendizado com o intuito de fornecer uma familiarização sobre o funcionamento e uso de ferramentas auxiliares semelhantes. Por se tratar de um programa de código aberto, o mesmo também pode ser utilizado como uma base de expansão para novas funcionalidades de um sistema PCP ou apenas como uma forma de observar e aprender como deve ser desenvolvido um sistema com este intuito.

Para o desenvolvimento deste sistema, nomeado provisoriamente de PCPWeb, foi utilizada a linguagem de programação JAVA em um ambiente *web*, seguindo o padrão de arquitetura *Model-View-Controller*, ou MVC. Com esta combinação, foi possível construir um ambiente maleável, possibilitando ao usuário a escolha de quantos dados de entrada serão usados em cada caso. Por se tratar de um sistema web, sua instalação também é muito simples, apenas precisando que o arquivo de empacotamento do sistema, que é gerado automaticamente durante os ciclos de desenvolvimento, seja colocado no devido diretório de qualquer servidor compatível com a tecnologia JAVA EE6.

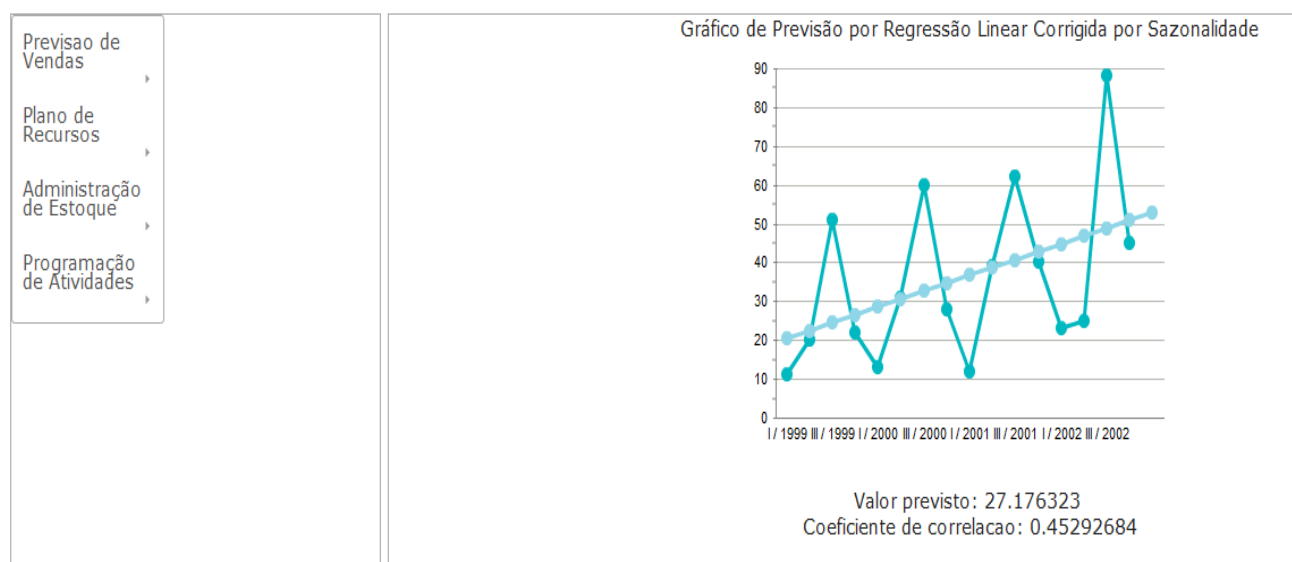
Abaixo, podem ser observadas algumas das páginas desenvolvidas para este programa. A entrada de dados é geralmente feita em etapas, começando após a escolha no menu do método a ser utilizado, informando em seguida a quantidade de dados que serão informados e outros dados que não dependem desta informação, e então preenchendo a entrada de dados de acordo com o número de entradas informado na etapa anterior. O programa então realiza as devidas manipulações de dados e cálculos, e apresenta os resultados por meio de componentes como gráficos, tabelas, listas e textos.



**Figura 17 - Tela inicial e menu do sistema PCPWeb**

Previsão de Vendas	Numero de Periodos de Sazonalidade <input type="text" value="4"/>
Plano de Recursos	Numero de Observações <input type="text" value="16"/> <input type="button" value="OK"/>
Administração de Estoque	I / 1999 <input type="text" value="11"/>
Programação de Atividades	II / 1999 <input type="text" value="20"/>
	III / 1999 <input type="text" value="51"/>
	IV / 1999 <input type="text" value="22"/>
	I / 2000 <input type="text" value="13"/>
	II / 2000 <input type="text" value="31"/>
	III / 2000 <input type="text" value="60"/>
	IV / 2000 <input type="text" value="28"/>
	I / 2001 <input type="text" value="12"/>
	II / 2001 <input type="text" value="39"/>
	III / 2001 <input type="text" value="62"/>
	IV / 2001 <input type="text" value="40"/>
	I / 2002 <input type="text" value="23"/>
	II / 2002 <input type="text" value="25"/>
	III / 2002 <input type="text" value="88"/>
	IV / 2002 <input type="text" value="45"/>
	<input type="button" value="Gerar Gráfico de Previsão"/>

**Figura 18 - Entrada de dados para uma Regressão Linear Corrigida pelo Fator de Sazonalidade**



**Figura 19 - Resultados da entrada de dados vista na Figura 18**



Previsão de Vendas Plano de Recursos Administração de Estoque Programação de Atividades	Quantidade de pontos de origem: <input type="text" value="3"/> Quantidade de pontos de destino: <input type="text" value="4"/> <input type="button" value="OK"/>																				
	Ofertas:                      Procuras: Origem 1 <input type="text" value="0"/> Destino 1 <input type="text" value="0"/> Origem 2 <input type="text" value="0"/> Destino 2 <input type="text" value="0"/> Origem 3 <input type="text" value="0"/> Destino 3 <input type="text" value="0"/> Destino 4 <input type="text" value="0"/>																				
	Custos: <table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th>Destino 1</th> <th>Destino 2</th> <th>Destino 3</th> <th>Destino 4</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Origem 1</td> <td><input type="text" value="0.0"/></td> <td><input type="text" value="0.0"/></td> <td><input type="text" value="0.0"/></td> <td><input type="text" value="0.0"/></td> </tr> <tr> <td>Origem 2</td> <td><input type="text" value="0.0"/></td> <td><input type="text" value="0.0"/></td> <td><input type="text" value="0.0"/></td> <td><input type="text" value="0.0"/></td> </tr> <tr> <td>Origem 3</td> <td><input type="text" value="0.0"/></td> <td><input type="text" value="0.0"/></td> <td><input type="text" value="0.0"/></td> <td><input type="text" value="0.0"/></td> </tr> </tbody> </table>		Destino 1	Destino 2	Destino 3	Destino 4	Origem 1	<input type="text" value="0.0"/>	<input type="text" value="0.0"/>	<input type="text" value="0.0"/>	<input type="text" value="0.0"/>	Origem 2	<input type="text" value="0.0"/>	<input type="text" value="0.0"/>	<input type="text" value="0.0"/>	<input type="text" value="0.0"/>	Origem 3	<input type="text" value="0.0"/>	<input type="text" value="0.0"/>	<input type="text" value="0.0"/>	<input type="text" value="0.0"/>
		Destino 1	Destino 2	Destino 3	Destino 4																
Origem 1	<input type="text" value="0.0"/>	<input type="text" value="0.0"/>	<input type="text" value="0.0"/>	<input type="text" value="0.0"/>																	
Origem 2	<input type="text" value="0.0"/>	<input type="text" value="0.0"/>	<input type="text" value="0.0"/>	<input type="text" value="0.0"/>																	
Origem 3	<input type="text" value="0.0"/>	<input type="text" value="0.0"/>	<input type="text" value="0.0"/>	<input type="text" value="0.0"/>																	
<input type="button" value="Calcular distribuição de recursos"/>																					

**Figura 20 - Entrada de dados para o método Canto-Noroeste**

Previsão de Vendas Plano de Recursos Administração de Estoque Programação de Atividades	Custo de realização de pedido: <input type="text" value="4.0"/> Custo unitário de armazenamento: <input type="text" value="0.038"/> Número de períodos planejados: <input type="text" value="6"/> <input type="button" value="OK"/>
	Período 1 <input type="text" value="5"/> Período 2 <input type="text" value="5"/> Período 3 <input type="text" value="5"/> Período 4 <input type="text" value="20"/> Período 5 <input type="text" value="30"/> Período 6 <input type="text" value="15"/> <input type="button" value="Calcular compras"/>
	<div>             ◊ Compra de 15 unidades, no período 3, a um custo de 4.57. (Valor médio: 1.5233334 /período)              ◊ Compra de 65 unidades, no período 6, a um custo de 6.2799997. (Valor médio: 2.0933332 /período)           </div>

**Figura 21 - Entrada e saída de dados para o método Silver-Meal**

Previsão de Vendas	Numero de Atividades	6	OK	
Plano de Recursos	Atividade	Tempo na Maquina 1	Tempo na Maquina 2	Tempo na Maquina 3
Administração de Estoque	A	19	8	27
Programação de Atividades	B	28	15	39
	C	37	8	22
	D	22	13	37
	E	12	27	24
	F	28	10	18

Calcular ordem

Ordem de execução: A --> D --> E --> B --> C --> F

**Figura 22 - Entrada e saída de dados para a Regra de Johnson para Três Maquinas**

## 8. CONCLUSÃO

Neste trabalho, vimos que a visão estratégica é uma poderosa arma que, a partir do conhecimento das etapas, possibilidades e metas da produção, possibilita a minimização de problemas decorrente da produção de determinados produtos e a ampliação do setor produtivo, resultando em maiores margem de lucro e de sobrevivência empresarial. Todos os elementos envolvidos diretamente ou indiretamente no processo de fabricação devem ser levados em consideração, desde o fator humano até as matérias primas, métodos de trabalho e quantificação.

Através do estudo dos pseudocódigos propostos, foi possível desenvolver um sistema simples de auxílio ao aprendizado para a aplicação dos métodos citados neste trabalho. No processo de desenvolvimento, procurou-se manter o foco na simplicidade do código, mas sem perder a funcionalidade de otimização proposta.

Analisando os pseudocódigos desenvolvidos, podemos observar que as técnicas propostas possuem lógicas relativamente simples, e que podem facilmente ser implementadas em funções em outra linguagem de programação desejada. Futuramente, no intuito de expansão do trabalho, podem ser aplicados melhores métodos de otimização e medição de eficiência, inclusive de maneira automatizada, visto que neste trabalho foram utilizadas técnicas mais simples, apenas com o intuito de definir o algoritmo e informar os medidores de eficiência, sem realmente os utilizar para a otimização do método.

Adicionalmente, todos os pseudocódigos foram desenvolvidos, na medida do possível, de maneira modular, podendo ser reutilizados em outros sistemas. Este comportamento pode inclusive ser notado em pseudocódigos para métodos similares, que foram desenvolvidos como extensões de algoritmos anteriores.

Futuramente, este trabalho pode ser continuado desenvolvendo uma interface mais polida para o sistema, aplicando novos métodos ou modificando os métodos já existentes para utilizar algoritmos mais eficientes de otimização, atividades que não devem demonstrar dificuldade excessiva, visto o caráter modular encorajado em aplicações JAVA e seguido neste trabalho.

## 9. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALTER, S. Information Systems: A Management Perspective. Menlo Park, CA: Benjamin e Cummings, 1996

ANTUNES, J., NETO, F., FENSTERSEIFER, J., Considerações críticas sobre a evolução das filosofias de administração de produção : do Just in Case ao Just-in-Time. Revista de Administração de Empresas. São Paulo, 1989.

BARCO, C. F.; VILLELA, F. B. Análise dos sistemas de programação e controle da produção. A integração das cadeias produtivas com a abordagem da manufatura sustentável. In: ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, 28., 2008, Rio de Janeiro.

BARROS, J. R. F.; TUBINO, D. F. Metodologia para implantação e melhoria do Planejamento e Controle da Produção em Pequenas e Médias Empresas, Dissertação de Mestrado, Florianópolis, Junho, 1999.  
[http://www.abepro.org.br/biblioteca/ENEGEP1999\\_A0228.PDF](http://www.abepro.org.br/biblioteca/ENEGEP1999_A0228.PDF)

BERTALANFFY, L.V. Teoria Geral dos Sistemas – Petrópolis, editora vozes. 1998.

BIO, Sérgio Rodrigues. Sistema de Informação um enfoque de PCP. São Paulo. Atlas. 1985.

BRIEN, James A. Sistema de informação e as decisões gerenciais na era da internet. 9ª ed. Saraiva. São Paulo. 2001.

CASHMORE, C.; LYALL, R. Business Information. Systems and Strategies. Prentice Hall. 1991

CHURCHMAN, C. W. Introdução à Teoria dos Sistemas. Petrópolis, editora vozes. 2000.

Computers and Intractability: A Guide to the Theory of NP-Completeness, M. R. Garey and D. S. Johnson, W. H. Freeman, 1979.

CORRÊA, H.L.; GIANESI, I.G.N.; CAON, M. Planejamento, Programação e Controle da Produção: MRPII/ERP: Conceitos, Uso e Implantação. São Paulo: Atlas, 2001.

CSILLAG, J. M., CORBETT, T. N. Utilização da teoria das restrições no ambiente de manufatura em empresas no Brasil. São Paulo: FGV, 199

EARL, M. Management strategies for information technology. Prentice Hall. 1989

FERNANDES, F.C.F.: Concepção de um Sistema de Controle da Produção para a Manufatura Celular. São Carlos, 1991. Tese de Doutorado, Escola de Engenharia de São Carlos.

Fernandes, F.C.F.; GODINHO FILHO, M. Sistemas de coordenação de ordens: revisão, classificação, funcionamento e aplicabilidade. <http://www.scielo.br/pdf/gp/v14n2/10.pdf>

FREITAS, H., BECKER, J. L., KLADIS, C. M. e HOPPEN, N. Informação e decisão: sistemas de apoio e seu impacto. Porto Alegre: Ed. Ortiz, 1997

GUERRINI, F. M. Modelagem da Produção, 2010

JONSSON, P.; MATTSSON, S. The selection and application of material planning methods. Production Planning and Control, 2002.

LANDVATER, D. V.; GRAY, C. D. MRP II Standard System? A Handbook for Manufacturing Software Survival. 1ª. ed. Oliver Wight Limited Publications: USA, 1989.

LAUDON, Kenneth. LAUDON, Jane Price. Sistemas de Informação. 4ª ed. Rio de Janeiro: LTC, 1999.

LUBBEN, R.T., Just-In-Time: uma estratégia avançada de produção. São Paulo: McGraw-Hill, 1989.

MASKELL, B. H. Software and the Agile Manufacturer: Computer systems and World Class Manufacturing. 1ª. ed. Portland: Productivity Press. 1994.

MOSCOVE, Stephen A. et all. Sistemas de Informações Contábeis. São Paulo: Atlas. 2002.

OLIVEIRA, Djalma de Pinho Rebouças. Sistemas de Informações Gerenciais: estratégicas, táticas e operacionais. 8 ed. São Paulo: Atlas, 2003.

PADOVEZE, Clóvis Luis. Sistema de Informações contábeis. 3 ed. São Paulo: Atlas, 2002.

Peroba, L. M. Administração Da Produção II, 2007. [http://www.unicap.br/luis\\_peroba/Adm%20da%20ProdII%20P4.pdf](http://www.unicap.br/luis_peroba/Adm%20da%20ProdII%20P4.pdf)

Pinedo, M. Scheduling: Theory, Algorithms and Systems. Prentice Hall, 1995.

Rahman, S. U. Theory of Constraints- A Review of Philosophy and its Applications', International Journal of Operations and Production Management, 1998

REZENDE, Denis Alcides. ABREU, Aline França de. Tecnologia da Informação – Aplicada a sistemas de informação empresariais. 2 ed. São Paulo: Atlas, 2001.

SHEIKH, K. Manufacturing resource planning (MRP II) with an introduction to ERP, SCM, and MRP. 2003

SILVA, M. M.; COSTA, A. P. C. S.; TEIXEIRA, J. G. A. A exploração de SI/TI nas organizações - um estudo exploratório na Região Metropolitana do Recife. In: Enegep, 2005, Porto Alegre. Enegep, 2005.

SLACK, N. Coord. Administração da Produção. 1a ed. São Paulo, Atlas, 1997.

SPEARMAN, M. L.; WOODRUFF, D. L.; HOPP, W. J. CONWIP - a pull alternative to KANBAN. International Journal of Production Research, 1990

VOLLMANN, T. E. Sistemas de Planejamento e Controle da Produção para gerenciamento da Cadeia de Suprimentos. 5. ed. Porto Alegre: Bookman, 2006

Yusuf, Y.; Little, D. An empirical investigation of enterprise-wide integration of MRP II, International Journal of Operations and Production Management 18, 1998

ZHOU, H.; FENG, Y.; HAN, L. The hybrid heuristic genetic algorithm for job shop scheduling. Computer & Industrial Engineering, 2001