

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS

FACULDADE DE ENGENHARIA MECÂNICA

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE FABRICAÇÃO

ÁREA DE MATERIAIS E PROCESSOS DE FABRICAÇÃO

***O Uso do ABC Como Uma Ferramenta de
Apoio à Modelagem do Problema do
Seqüenciamento e Sua Função Objetivo***

ESTE EXEMPLAR CORRESPONDE A REDAÇÃO FINAL
DA TESE DEFENDIDA POR ROSANA BEATRIZ
BARTISTA MUNDAD E APROVADA PELA
COMISSÃO JULGADORA EM 01/01/98


ORIENTADOR

H117u

31688/BC

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS

FACULDADE DE ENGENHARIA MECÂNICA

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE FABRICAÇÃO

ÁREA DE MATERIAIS E PROCESSOS DE FABRICAÇÃO

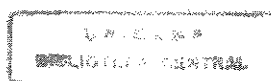
***O Uso do ABC Como Uma Ferramenta de Apoio à
Modelagem do Problema do Seqüenciamento e Sua
Função Objetivo***

Autor Rosana Beatriz Baptista Haddad

Orientador Paulo Corrêa Lima *

Dissertação de Mestrado apresentada à Faculdade de Engenharia Mecânica, da Universidade Estadual de Campinas, como parte dos requisitos exigidos para obtenção do título de Mestre em Engenharia Mecânica

Julho 1997



UNIDADE	BC
N.º CHAMADA:	
	Unicamp
	2117u
	Ex.
N.º UN. BC	31683
PROG.	281/97
C	☐
D	☒
PREÇO	R\$ 11,00
DATA	18/09/97
N.º CPD	

CM-00101233-7

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA
BIBLIOTECA DA ÁREA DE ENGENHARIA - BAE - UNICAMP

H117u

Haddad, Rosana Beatriz Baptista

O uso do ABC como uma ferramenta de
apoio à modelagem do problema do
seqüenciamento e sua função objetivo /
Rosana Beatriz Baptista Haddad.--Campinas, SP:
(s.n.), 1997.

Orientador: Paulo Corrêa Lima.
Dissertação (mestrado) - Universidade
Estadual de Campinas, Faculdade de
Engenharia Mecânica.

1. Engenharia de produção.* 2. Orçamento
nas empresas.* 3. Custo industrial.* 4. Controle
da produção.* 5. Planejamento da produção. I.
Lima, Paulo Corrêa. II. Universidade Estadual de
Campinas. Faculdade de Engenharia
Mecânica. III. Título.

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS

FACULDADE DE ENGENHARIA MECÂNICA

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE FABRICAÇÃO

Dissertação de Mestrado

Título da Tese *O Uso do ABC Como Uma Ferramenta de Apoio à
Modelagem do Problema do Seqüenciamento e Sua
Função Objetivo*

Autor Rosana Beatriz Baptista Haddad

Orientador Paulo Corrêa Lima

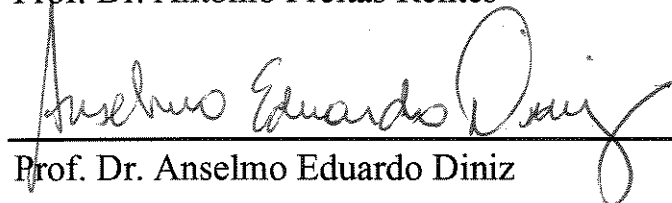
Aprovado por:



Prof. Dr. Paulo Corrêa Lima



Prof. Dr. Antonio Freitas Rentes



Prof. Dr. Anselmo Eduardo Diniz

DEDICATÓRIA

À Minha Família

AGRADECIMENTOS

Agradeço a todos que me incentivaram e colaboraram para a realização deste trabalho.

Ao Professor Paulo Corrêa Lima agradeço pela orientação e pelo incentivo.

Ao Beto, por toda a disponibilidade demonstrada, sempre que solicitado.

À Olga, Fátima, João e Carlos Passos, pelas sugestões e críticas de redação, sempre oportunas.

Ao Wagner e ao Jaime pelo apoio computacional.

Aos demais colegas do CTI, que apoiaram e viabilizaram a realização deste trabalho.

E finalmente, à minha mãe, tio Zé, tia Salma, Claudia, Célio, Patrícia, Alice, Luiz, Cristina, Cátia e Therezinha por toda a paciência, compreensão e estímulo, durante todo o transcorrer deste trabalho.

SUMÁRIO

DEDICATÓRIA.....	iii
AGRADECIMENTOS.....	iv
SUMÁRIO.....	v
LISTA DE FIGURAS	vii
LISTA DE TABELAS.....	ix
RESUMO	x
ABSTRACT	xi
CAPÍTULO 1	1
INTRODUÇÃO.....	1
1.1. <i>Objetivos do Trabalho</i>	2
1.2. <i>Conteúdo do Trabalho</i>	3
CAPÍTULO 2	4
OS SISTEMAS DE ADMINISTRAÇÃO DA PRODUÇÃO.....	4
2.1. <i>O Papel do Planejamento da Produção</i>	7
2.2. <i>O Papel da Programação da Produção</i>	14
2.3. <i>Alguns Métodos de Programação da Produção</i>	15
2.4. <i>A Importância da Determinação Correta dos Custos de Produção</i>	21
CAPÍTULO 3	24
OS SISTEMAS DE CUSTEIO	24
3.1. <i>Objetivos e Princípios</i>	25
3.1.1. <i>Custeio Integral</i>	27
3.1.2. <i>Custeio por Absorção</i>	27
3.1.3. <i>Custeio Direto ou Variável</i>	28
3.2. <i>Método dos Centros de Custo</i>	29
3.2.1. <i>Custeio por Taxa</i>	30
3.2.2. <i>Custeio Total</i>	31
3.3. <i>Método do Custo Padrão</i>	36
3.4. <i>Os Sistemas de Custeio Tradicionais e a Tomada de Decisões</i>	37
3.5. <i>O Método de Custeio Baseado em Atividades (Activity Based Costing - ABC)</i> 39	
CAPÍTULO 4	45

O ABC COMO FERRAMENTA DE AUXÍLIO AO SEQÜENCIAMENTO.....	45
4.1. <i>Determinação dos Parâmetros da Função Objetivo</i>	46
4.2. <i>Descrição do Problema</i>	49
4.3. <i>Os Custos Envolvidos na Produção</i>	50
4.4. <i>A Consideração das Ociosidades no Seqüenciamento</i>	52
4.5. <i>O ABC, na Determinação dos Recursos e Atividades Relevantes</i>	56
4.6. <i>A Determinação da Função Objetivo</i>	58
CAPÍTULO 5	60
RESULTADOS DO ESTUDO DE CASO	60
5.1. <i>Consideração dos Tempos de Setup</i>	60
5.2. <i>Algumas Considerações</i>	62
5.3. <i>Alguns Resultados Simulados</i>	67
CAPÍTULO 6	79
CONCLUSÃO	79
APÊNDICE A	81
ALGORITMO BRANCH AND BOUND.....	81
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	94
<i>Bibliografia Citada</i>	94
<i>Bibliografia Consultada</i>	98

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 2.1 - CONTEXTO DE ESCOLHA DE SISTEMA DE ADMINISTRAÇÃO DA PRODUÇÃO [LIMA, 1994]	6
FIGURA 2.2 - HIERARQUIA DE UM SISTEMA MRPII [LIMA, 1994]	8
FIGURA 2.3 - EXEMPLO DE PERFIL DE CARGA DE MÁQUINA COM POUCO NÍVEL DE OCIOSIDADE	12
FIGURA 2.4 - EXEMPLO DE PERFIL DE CARGA DE MÁQUINA COM MAIOR NÍVEL DE OCIOSIDADE	12
FIGURA 2.5 - PERFIL DE CARGA BALANCEADO, EVITANDO-SE SOBRECARGA DE MÁQUINA	13
FIGURA 2.7A - RESOLUÇÃO DE UM PROBLEMA <i>BRANCH AND BOUND</i>	16
FIGURA 2.7B - PRIMEIRA ITERAÇÃO NA RESOLUÇÃO DE UM PROBLEMA <i>BRANCH AND BOUND</i>	16
FIGURA 2.7C - SEGUNDA ITERAÇÃO NA RESOLUÇÃO DE UM PROBLEMA <i>BRANCH AND BOUND</i>	17
FIGURA 2.7D - TERCEIRA ITERAÇÃO NA RESOLUÇÃO DE UM PROBLEMA <i>BRANCH AND BOUND</i>	17
FIGURA 2.7E - QUARTA ITERAÇÃO NA RESOLUÇÃO DE UM PROBLEMA <i>BRANCH AND BOUND</i>	18
FIGURA 2.7F - QUINTA ITERAÇÃO NA RESOLUÇÃO DE UM PROBLEMA <i>BRANCH AND BOUND</i>	18
FIGURA 2.7G - SEXTA ITERAÇÃO NA RESOLUÇÃO DE UM PROBLEMA <i>BRANCH AND BOUND</i>	19
FIGURA 2.7H - RESULTADO FINAL DE UM PROBLEMA <i>BRANCH AND BOUND</i> [BAKER 1974]	20
FIGURA 2.8 - PARÂMETROS DA PROGRAMAÇÃO DA PRODUÇÃO [LIMA, 1993]	23
FIGURA 3.1 - EXEMPLO DE APLICAÇÃO DO CUSTEIO TRADICIONAL POR TAXA	30
FIGURA 3.2. ESTRUTURA DE RATEIO DOS CUSTOS INDIRETOS COM O MÉTODO DE CENTROS DE CUSTOS [MARTINS, 1990]	35
FIGURA 3.3 - ESQUEMA DE DEMANDA DE RECURSOS [CHING 1995]	40
FIGURA 3.4 - ESQUEMA DE ALOCAÇÃO DE CUSTOS NO ABC	41

FIGURA 4.1 - GRÁFICO DE FATURAMENTO DA EMPRESA X TIPO DE CLIENTE	47
FIGURA 4.2 - EXEMPLO DE CURVAS DE PERDA MONETÁRIA X TEMPO, DE ACORDO COM O TIPO DE CLIENTE	48
FIGURA 4.3 - FLUXO DE MATERIAIS NA FÁBRICA	50
FIGURA 4.4 - ABERTURA DE SAÍDA DA MÁQUINA. DIMENSÕES VARIAM DE ACORDO COM LARGURA E ESPESSURA DA CHAPA	52
FIGURA 4.5 - EXEMPLO DE SEQUENCIAMENTO ONDE SÃO DESCONSIDERADOS OS PERÍODOS DE OCIOSIDADE DE MÁQUINA	53
FIGURA 4.6 - EXEMPLO DE SEQUENCIAMENTO CONSIDERANDO-SE PERÍODOS DE OCIOSIDADE	54
FIGURA 4.7A - ALOCAÇÃO DIRETA DOS PEDIDOS À EXTRUSORA.....	56
FIGURA 4.7B - ALOCAÇÃO DE PEDIDOS COM MINIMIZAÇÃO DE HORAS EXTRAS E CONSIDERAÇÃO DAS OCIOSIDADES	56

LISTA DE TABELAS

TABELA 3.1. MAPA DE RATEIO DOS CUSTOS	34
TABELA 3.2 - MODELO HIERÁRQUICO DE FORMAÇÃO DE CUSTOS.....	42
TABELA 4.1 - MATRIZ PARA TEMPO DE <i>SETUP</i> DE ACORDO COM A VARIAÇÃO DOS ATRIBUTOS DAS CHAPAS QUE SAEM E ENTRAM NA MÁQUINA	50
TABELA 4.2 - EXEMPLO DE PEDIDOS DE VENDA PARA OS PRÓXIMOS 5 DIAS.....	55
TABELA 4.3 - LISTA DOS RECURSOS CONSIDERADOS NO MODELO DE CUSTOS.....	57
TABELA 4.4 - LISTA DAS ATIVIDADES CONSIDERADAS NO MODELO DE CUSTOS	57
TABELA 5.1 - MATRIZ PARA TEMPO DE <i>SETUP</i> (EM MINUTOS) DE ACORDO COM A VARIAÇÃO DAS ESPESSURAS DAS CHAPAS	61
TABELA 5.2 - MATRIZ PARA TEMPO DE <i>SETUP</i> (EM MINUTOS) DE ACORDO COM A VARIAÇÃO DAS LARGURAS DAS CHAPAS.....	61
TABELA 5.3 - MATRIZ PARA TEMPO DE <i>SETUP</i> (EM MINUTOS) DE ACORDO COM A VARIAÇÃO DOS GRUPOS DE COR DAS CHAPAS	62

RESUMO

A adequação dos custos de produção à nova realidade de mercado é um sério problema encontrado por grande número de empresas e sua solução passa pelo planejamento da produção, pois a utilização racional dos recursos de chão de fábrica pode levar a significativas economias operacionais.

Este trabalho tem a finalidade de apresentar uma ferramenta que auxilie o planejador na utilização racional dos recursos de chão de fábrica, fornecendo uma sequência ótima de produção de lotes, para um dado horizonte de planejamento. Para isso, propõe-se a utilização do método do Custeio Baseado em Atividades - ABC - na determinação dos parâmetros da função objetivo, para um método de *Branch and Bound*, que encontra a sequência ótima de execução de lotes num determinado período de tempo.

Como os recursos de produção podem não ser gargalos, existem tempos de ociosidade associados a cada máquina. Neste trabalho propõe-se, que estes tempos sejam considerados para efeito de seqüenciamento dos lotes de produção. Desta forma, o resultado apresentado no trabalho deve ser mais realista, já que além da sequência ótima de produção, deve apresentar também a melhor data de fabricação, de maneira que sejam minimizados os atrasos e os adiantamentos de produção.

O modelo proposto foi validado com a implementação computacional do método e através da realização de testes com dados de uma empresa de extrusão de plástico.

A utilização desta abordagem mostrou-se atraente devido à possibilidade de se obter, ao final do seqüenciamento, além de uma sequência ótima também os custos de se produzir esta sequência, aí inclusos custos tanto de atividades diretas quanto indiretas. A consideração das ociosidades de máquina ao longo do período de seqüenciamento, implicou em um resultado do *Branch and Bound* que apresenta além da sequência ótima, dentro do universo por ele considerado, também as datas em que cada pedido deve ser inicializado, de modo a minimizar os atrasos e adiantamentos.

ABSTRACT

To adequate production costs to the new global market has been a challenging task that several companies are facing. The production planning and scheduling can lead to a more rational utilization of shop floor resources and to significantly operational cost reductions.

This research work aims to present a tool to aid the production planner in this task, by supplying an optimal production scheduling, in a given planning horizon. The use of the Activity-Based Costing methodology is proposed to determine the objective function parameters for Branch and Bound Algorithm.

If the production resources are not bottlenecks, there are some idle time associated with each of these resources. This work proposes also that this idle time must be considered in the production scheduling process, in order to provide a more realistic schedule. If the idle times are considered, the optimal schedule can not only calculate the best sequence, but also provide the initial production time for each order to minimize delay and premature orders.

A computational system was developed to implement the proposed model and several tests were done with data form a plastic extrusion production environment.

This approach has shown to be very interesting due to its abilities to provide the optimal production scheduling that minimizes all costs related to the direct and indirect activities and also to the schedule of the idle times.

Capítulo 1

Introdução

A atual realidade econômica, com mercados globalizados e concorrentes em escala mundial, oferecendo bens e serviços de alta qualidade, forçam as empresas a diversificarem suas linhas de produtos, numa tentativa de atender a nichos de mercado menos congestionados.

Esta diversificação na linha de produtos acarreta num aumento da complexidade na execução dos trabalhos na empresa, já que um maior número de componentes irá disputar o mesmo número de recursos. Além disso aumentarão o número de ordens de serviço, *setups*, requisições de compra e de componentes em estoque, para citar alguns exemplos. Tal situação acaba forçando os custos de produção para cima.

Num passado não muito distante, quando os mercados eram mais restritos, estes custos seriam simplesmente repassados para os preços dos produtos. Porém, este mesmo mercado globalizado, que oferece bens e serviços diversificados e de alta qualidade, oferece também baixos custos.

Cria-se então um dilema: para ganhar competitividade é necessário diversificar. Contudo a diversificação acarreta um aumento de custos e conseqüentemente um aumento do preço dos produtos para o consumidor. Porém o aumento do preço do produto implica na perda de competitividade. O perfeito equacionamento e a solução

deste dilema é fundamental para qualquer empresa que deseje continuar competitiva num mercado cada vez mais disputado.

Neste sentido, a adequação dos custos de produção à nova realidade de mercado é um sério problema encontrado por grande número de empresas e sua solução passa pelo planejamento da produção, pois a utilização racional dos recursos de chão de fábrica e de matéria prima, pode levar a significativas economias operacionais.

1.1. Objetivos do Trabalho

A finalidade deste trabalho é a de apresentar uma ferramenta que auxilie o planejador na utilização racional dos recursos de chão de fábrica, fornecendo uma seqüência ótima de produção de lotes, para um dado horizonte de planejamento. Para isso propõe-se a utilização do método do Custeio Baseado em Atividades - ABC - na determinação dos parâmetros de uma função objetivo para um método *Branch and Bound* que encontra a seqüência ótima de execução de lotes, num determinado período de tempo.

Cada lote equivale a um pedido de venda, e é conhecido “a priori”. Os lotes disputam uma única máquina, são executados um de cada vez e não permitem interrupção de execução. No caso estudado, o *setup* depende da seqüência executada, sendo portanto necessária a consideração destes tempos tanto para racionalização do recurso fabril quanto para otimização de matéria prima.

Como os recursos estudados não são gargalos, existem tempos de ociosidade associadas a cada máquina. Neste trabalho, propõe-se que estes tempos sejam considerados para efeito de seqüenciamento dos lotes de produção, através do fracionamento do período total ocioso em vários períodos de ociosidade e da distribuição destes períodos ao longo do tempo no processo de seqüenciamento. Desta forma, o resultado apresentado no trabalho deve ser mais realista, já que além da seqüência ótima de produção, deve apresentar também a melhor data de fabricação, de forma que sejam minimizados adiantamentos e atrasos de produção. Este último

resultado não seria possível se a ociosidade de máquina fosse considerada toda no início ou no fim do seqüenciamento, ou se fosse simplesmente desprezada.

Para determinação da ponderação dos parâmetros da função objetivo considerada, propõe-se a utilização do método de custeio ABC. Este método mostra-se bastante adequado na determinação destes valores, já que proporciona o levantamento de todas as atividades envolvidas no processo produtivo e seus custos, estejam elas direta ou indiretamente relacionadas à produção.

Assim, o resultado da função objetivo considerada no método *Branch and Bound* deve trazer, além da melhor seqüência de produção e dos instantes em que cada lote deve ser iniciado, também o custo de se produzir esta seqüência.

1.2. Conteúdo do Trabalho

Este trabalho está dividido em seis capítulos, sendo o primeiro deles a presente Introdução. No capítulo dois são discutidos os Sistemas de Administração da Produção mais conhecidos e o seu papel no planejamento e administração da produção numa empresa. São destacados, em linhas gerais, os papéis do planejamento e da programação da produção. A seguir fala-se brevemente do método escolhido para a resolução do problema do seqüenciamento - o método *Branch and Bound*.

No capítulo três são apresentados os Métodos de Custeio Tradicional sendo abordada sua inadequação no auxílio à tomada de decisão numa empresa. É então apresentado o Custeio ABC, sendo feito um paralelo entre ambos os métodos. O capítulo quatro justifica o uso do Método ABC como ferramenta de auxílio ao seqüenciamento da produção. No capítulo cinco é apresentado um estudo de caso e, finalmente, no capítulo seis são apresentadas as conclusões do trabalho.

Capítulo 2

Os Sistemas de Administração da Produção

Dentre as áreas que compõem a Administração de Empresas, poucas sofreram tantas mudanças quanto a Administração da Produção. Durante muito tempo a produção foi considerada “um problema já resolvido” pelos empresários ocidentais, que concentravam esforços principalmente em *marketing* e gestão financeira. É na manufatura, porém, que se concentra a principal arma competitiva de uma empresa, já que os critérios que regem a concorrência no mercado atual (produtos livres de defeito, produtos confiáveis, entregas confiáveis e rápidas), são um reflexo dessa função. Portanto, seja qual for a abordagem estratégica de uma empresa, com certeza esta abordagem deve estar alinhada com a sua manufatura.

Foi com o aumento da competitividade japonesa que, centrando esforços na excelência de sua manufatura conseguiu produtos cada vez mais baratos e com maior qualidade, que os administradores ocidentais atentaram para a real importância desta função e do seu papel estratégico para a organização.

A principal meta da manufatura passou a ser, então, suportar a organização na consecução de seus objetivos e estratégias. Isto só é conseguido através de um gerenciamento adequado dos seus recursos e do correto estabelecimento e priorização de seus critérios competitivos. A estratégia da manufatura deve consistir de um programa que garanta que os produtos certos estejam disponíveis na quantidade, local

e momentos certos. Deve ainda atender às exigências de clientes quanto à qualidade e baixos custos.

Os Sistemas de Administração da Produção, surgiram então como ferramentas necessárias para que os administradores pudessem entender e controlar melhor sua manufatura, gerenciando com base em dados atualizados sobre mercados, custos, níveis de produção e estoques.

Existem várias alternativas disponíveis para se montar um sistema de administração da produção e existem formas diferentes de se compor os módulos de um sistema escolhido, de forma que este se adeque às necessidades da empresa.

A figura 2.1 esquematiza o contexto de escolha de um sistema de administração da produção.

Em primeiro lugar, definem-se as necessidades de mercado e do nicho em que se deseja trabalhar. Isto trará reflexos no tipo de manufatura empregada na empresa. A escolha do sistema de administração da produção tem uma ligação de ida e volta entre o processo de manufatura e o sistema utilizado. Este, por sua vez, pode ou não ter sido escolhido e adaptado das várias possibilidades já existentes .

Aborda-se neste capítulo, os papeis do Planejamento e da Programação da Produção. Apresenta-se a seguir, alguns Métodos de Programação da Produção. Finalmente discute-se a importância da correta determinação dos custos de produção para cada produto fabricado.

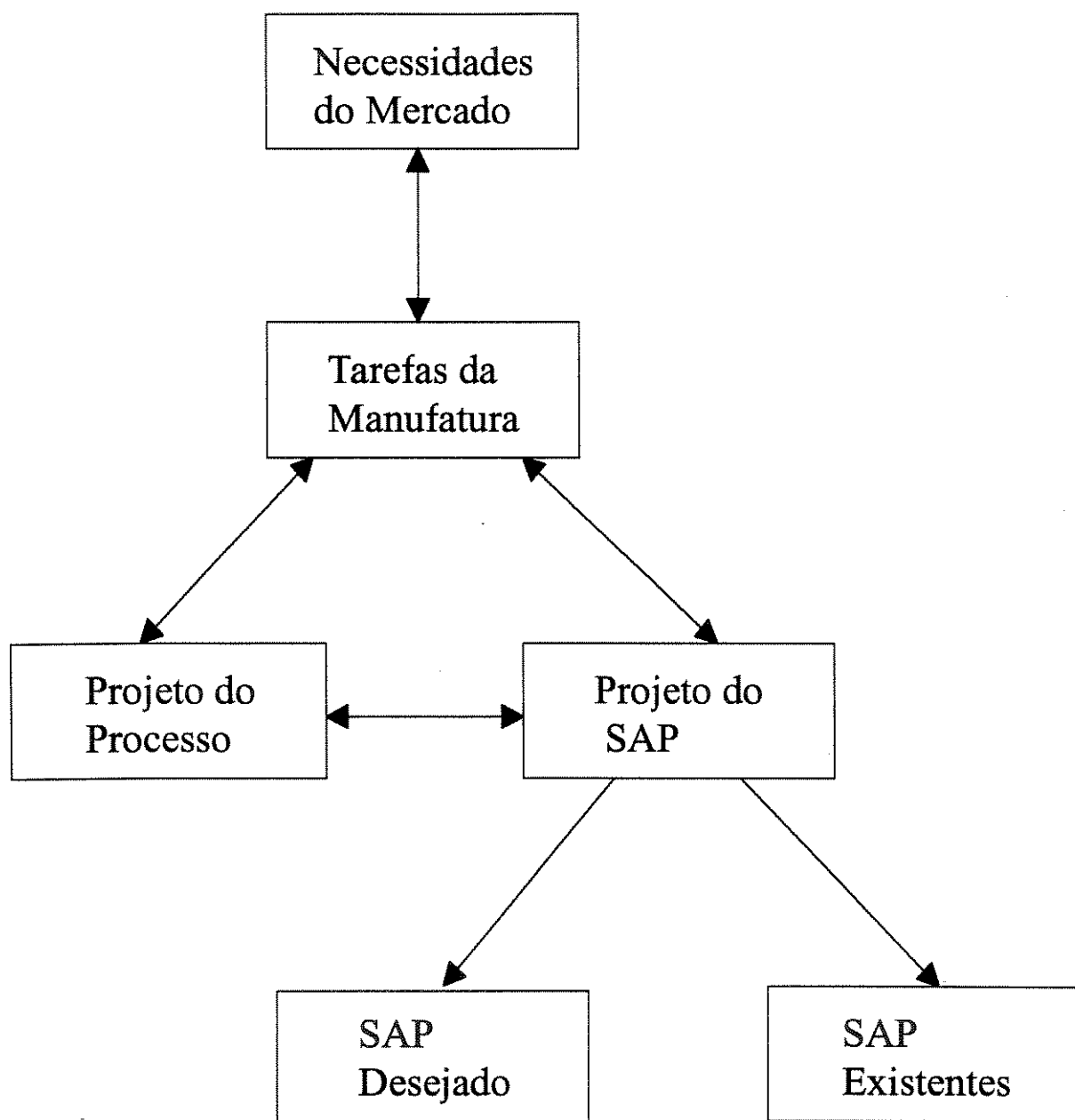


Figura 2.1 - Contexto de escolha de sistema de administração da produção [Lima, 1994]

2.1. O Papel do Planejamento da Produção

Planejar e programar a sequência de produção de recursos fabris é tarefa das mais complexas e imprescindíveis. Complexa devido ao grande número de variáveis envolvidas no problema e imprescindível porque o planejamento e a programação racionalizam a produção, possibilitando redução de custos e, conseqüentemente, ganho de competitividade.

São vários os métodos disponíveis para auxílio ao planejamento da produção. Destacam-se dentre eles o *Manufacturing Resource Planning* (MRP II), o *Optimized Production Technology* (OPT) e o *Just in Time* (JIT). Estes métodos usam diferentes abordagens numa tentativa de auxiliar o planejador a racionalizar o uso dos recursos disponíveis no chão de fábrica, sendo seu uso fundamental no auxílio à tomada de decisão, já que estes sistemas agregam e organizam informações fundamentais para os administradores, [Corrêa & Giansesi, 1993; Barker, 1994; Kleebank, 1989].

Considerando-se o uso de um MRP II, seja em configuração pura ou híbrida com outros sistemas. Dentre as decisões tomadas pelos gerenciadores com base nos subsídios técnicos fornecidos por estes sistemas, encontram-se os planejamentos de necessidades de capacidade, os níveis apropriados de estoques e a programação de atividades de forma que pessoas e equipamentos estejam trabalhando a cada momento nas atividades certas, evitando dispersão de esforços. Além disso, estes sistemas devem fornecer informações que permitam ao planejador conhecer a situação dos equipamentos, das pessoas e das ordens de serviço, de forma que ele possa reagir com eficácia e rapidez quando necessário. Ou seja, estes devem considerar cada particularidade da empresa ao gerenciar o fluxo de materiais e o conjunto de atividades de processo para transformar ou movimentar estes materiais. Deste fluxo de materiais e destas atividades de processo, surge um espectro de problemas gerenciais que precisam ser trabalhados com base em dados acurados.

Estes sistemas contribuem para a reorganização da empresa. Esta contribuição pode ser medida principalmente pela redução de fatores como: horas extras, custos de compra e distribuição, obsolescência e melhora do número de giros de inventário.

A Figura 2.2. mostra a hierarquia de um Sistema MRP II.

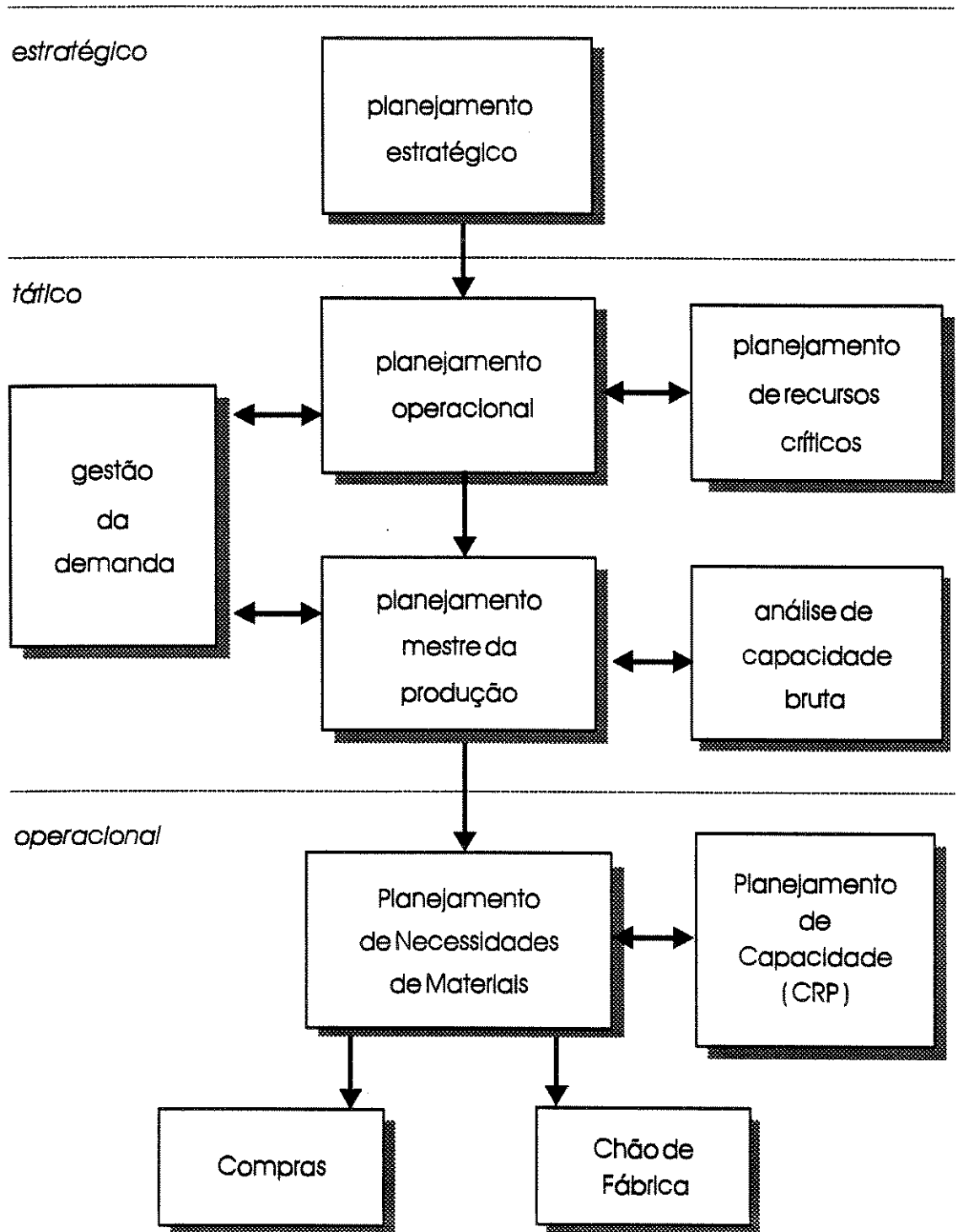


Figura 2.2 - Hierarquia de um Sistema MRPII [Lima, 1994]

Como pode-se notar pela figura, o Sistema MRPII é modular sendo que cada um de seus módulos atende a necessidades específicas da empresa. Lima [1994], dá uma breve explicação da função de cada um destes módulos:

Planejamento Estratégico: Define a estratégia básica da manufatura sendo de responsabilidade da alta gerência a definição e análise de questões envolvendo pessoal de manufatura, vendas, *marketing*, finanças e recursos humanos.

Gestão da Demanda: É o elo de ligação entre o mercado consumidor e a produção. É uma atividade centralizadora de informações, envolvendo planejamento, pedidos e previsões de venda, liberação de ordens com data de promessa de entrega e aquisição de dados dos clientes. Leva em conta ainda fontes de demanda tais como peças de reposição, requisições entre companhias e reposições de estoques. É responsável também pela manutenção de informações a respeito de disponibilidade de produtos e monitoramento do balanceamento entre fornecedores e a demanda.

Planejamento Operacional: É um dos módulos de maior importância estratégica dentro de um Sistema de Administração da Produção. As informações chaves para execução do plano operacional provêm de áreas ou de planos que estão fora de um sistema de planejamento e controle de manufatura, como alta administração, o planejamento de *marketing* e o planejamento financeiro. Fazem parte dos objetivos do planejamento operacional, a revisão das previsões de venda, o estabelecimento de níveis de inventário e carteira de pedidos e a determinação da utilização de recursos.

Planejamento de Recursos Críticos: O planejamento dos recursos críticos identifica as necessidades de mão-de-obra, espaço no chão-de-fábrica e horas-máquina, analisando os gargalos conhecidos pela empresa. Este nível de planejamento envolve decisões sobre aumento de capital de giro, aquisições de máquinas-ferramenta, espaço para estoque, etc.

A análise de recursos críticos é de extrema importância na definição do plano operacional, pois através dela se definem as necessidades em relação as capacidades dos gargalos. Esta análise é feita pela explosão do plano operacional, isto é, em função do *mix* de produção desejado (famílias de produtos). O estudo dos recursos críticos é utilizado para preparação do plano operacional ou na preparação dos planos estratégicos, fazendo uma pré-avaliação destes gargalos a médio e longo prazo.

Planejamento Mestre da Produção: O objetivo primeiro do plano mestre da produção (MPS) é determinar as quantidades do item final a serem produzidas, isto é, quantidades a serem produzidas em cada intervalo dentro do horizonte de planejamento do MPS. O plano mestre é o elo de ligação com a manufatura. O plano é definido em produtos, isto é, definido com código de produto para os quais existem estruturas de produtos associados.

Análise de Capacidade Bruta: A análise bruta de capacidade envolve a determinação de disponibilidade dos equipamentos que representam potenciais gargalos ao fluxo de produção, isto é, propicia uma avaliação bruta dos potenciais problemas de capacidade de um plano mestre. Existem três métodos para o cálculo da capacidade bruta, *capacity planning overall factors* (CPOF), *capacity bills* e *resource profiles*. A escolha do método a ser utilizado dependerá de fatores como o *lead time* de produção, existência de gargalos fixos ou flutuantes, *lay-out* do chão-de-fábrica, complexidade da estrutura do produto, etc.

Planejamento de Necessidade de Materiais: O planejamento de necessidade de materiais tem um papel central dentro de um sistema de planejamento de recursos da manufatura. Seu principal objetivo é explodir o plano mestre de produção período a período e gerar como resultado os requisitos de componentes ou matérias primas, também período a período.

Planejamento de Capacidade: verifica qual a capacidade de produção e identifica os gargalos da fábrica, já que a produção é limitada não somente pela disponibilidade de material, de pessoal e capital no curto prazo, mas também pelo espaço físico e outras limitações de longo prazo.

Compras: É o elo de ligação entre a produção e o fornecimento de materiais. Este módulo tem como principais funções os controles de recebimento e inspeção de matéria prima, avaliação de fornecedores, a elaboração e programação de contratos de compra além de emissão de ordens de compra.

Controle de Chão de Fábrica: Visa monitorar o desempenho de produção em função dos planos e cronogramas previamente determinados. Faz-se aqui o seqüenciamento das ordens de produção para os componentes da estrutura do produto, analisando um horizonte de planejamento curto, geralmente medido em horas

de produção. O controle da atividade de produção não é restrito apenas à fábrica, mas também aos fornecedores, já que se deve conhecer sua capacidade de entrega.

Este sistema é adotado por um grande número de empresas. Muitas, no entanto, preferem uma configuração híbrida integrando outros sistemas entre os dados de saída do MPS e os dados de entrada do MRP.

Como já foi dito anteriormente, é o MPS quem calcula as quantidades de cada produto a serem produzidas por intervalo de tempo, sendo de responsabilidade do módulo de Análise de Capacidade Bruta a determinação de disponibilidade dos equipamentos que representem potenciais gargalos ao fluxo de produção. Assim, normalmente o MPS apresentará como dado de saída, o perfil de carga de uma dada máquina que terá, por exemplo, as características das figuras 2.3. e 2.4.. Nota-se que em ambos os casos a capacidade média utilizada é compatível com a capacidade disponível, porém, em alguns intervalos de tempo a capacidade é excedida enquanto que em outros existe ociosidade do equipamento.

Na figura 2.3. o acerto de carga em relação à capacidade de máquina vai gerar adiantamento em uma ou mais ordens de produção do período 2 e adiantamento e atraso em uma ou mais ordens de produção do período 4, não sobrando períodos de ociosidade para a máquina.

Na figura 2.4., uma ou mais ordens de produção do período 2 serão realocadas para os períodos 1 ou 3. Os demais períodos permanecem com ociosidades.

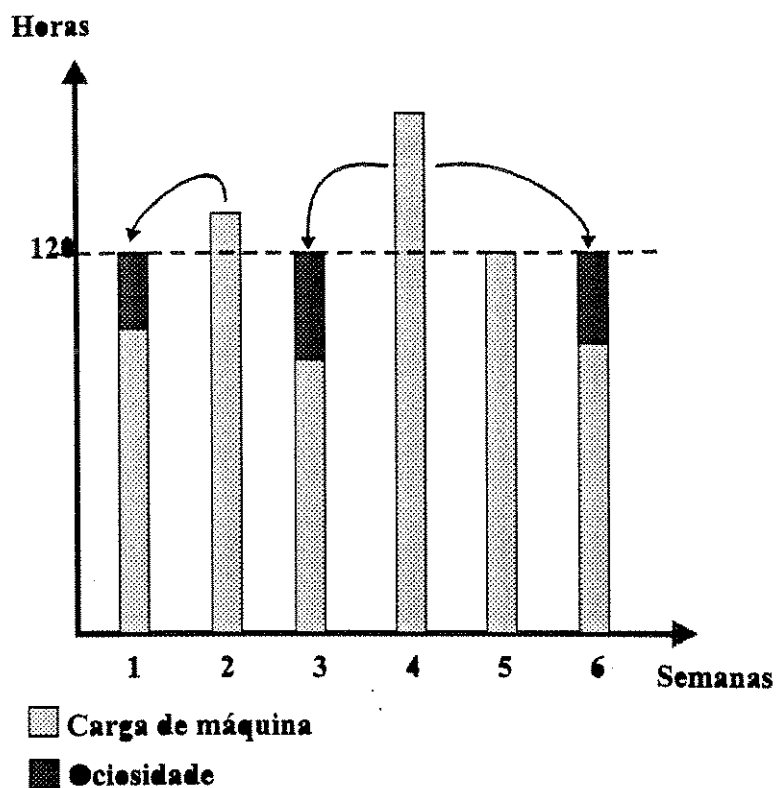


Figura 2.3 - Exemplo de Perfil de Carga de Máquina com pouco nível de ociosidade

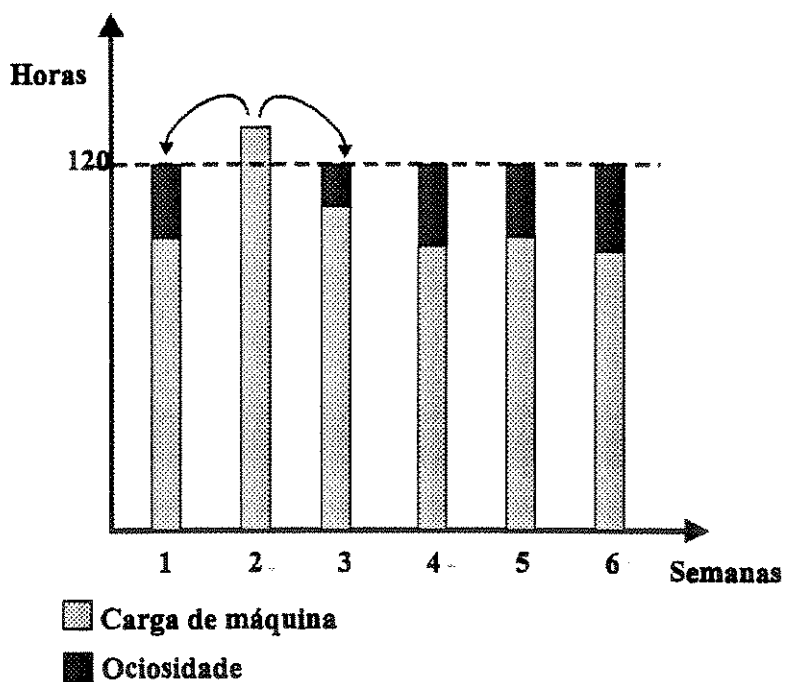


Figura 2.4 - Exemplo de Perfil de Carga de Máquina com maior nível de ociosidade

A figura 2.5 mostra um exemplo de redistribuição de ordens de produção de forma a se evitar sobrecargas de equipamento. Esta redistribuição é fruto de uma programação de produção para frente (*forward*), sem levar em consideração os custos dos adiantamentos.

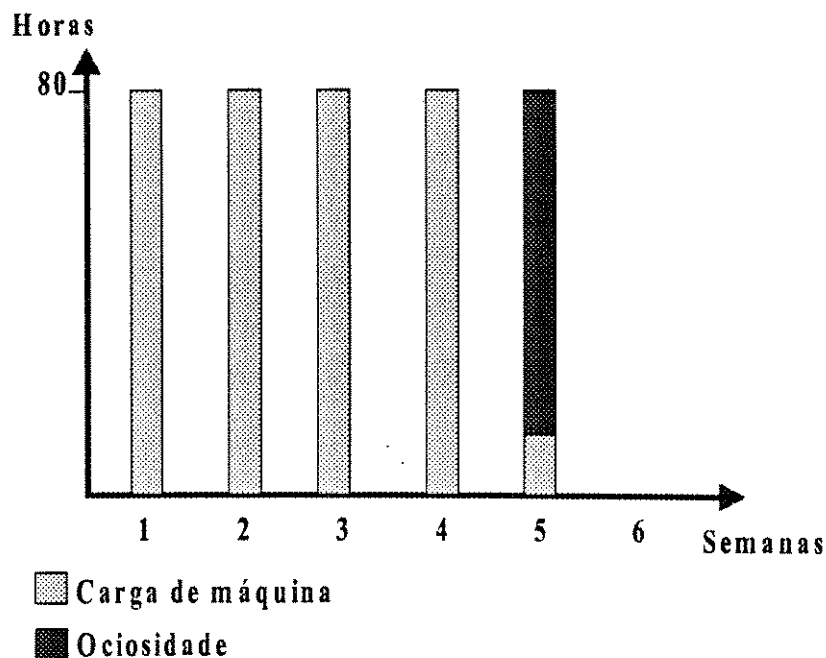


Figura 2.5 - Perfil de Carga Balanceado, evitando-se sobrecarga de máquina

Com esta redistribuição das ordens de produção, garante-se o balanceamento da carga de máquina, evitando-se que alguns períodos apresentem sobrecarga enquanto outros apresentam ociosidade de máquina. Este procedimento, porém, não garante que as ordens estarão sendo executadas o mais próximo possível de sua data ideal de início, ou seja, é um procedimento que evita realização de horas extras quando existe capacidade disponível de máquina, porém não auxilia na otimização dos estoques.

Uma outra forma de se redistribuir as ordens de produção de forma a se evitar sobrecargas de equipamento é a programação para trás (*backward*). Esta redistribuição, ao contrário da programação para frente, não leva em consideração os custos dos atrasos.

Este procedimento seqüencia toda a capacidade ociosa antes do seqüenciamento dos lotes de produção. Assim, garante-se o balanceamento da carga

de máquina, evitando-se sobrecarga em alguns períodos e ociosidade em outros, porém, aqui também não se garante que as ordens estarão sendo executadas o mais próximo possível de sua data ideal de início, não auxiliando, portanto, na minimização de ordens em atraso.

2.2. O Papel da Programação da Produção

A realização de tarefas no chão de fábrica pressupõe, entre outras, decisões a cerca de seqüenciamento de ordens a serem produzidas num determinado período. Os Sistemas de Administração da Produção auxiliam na determinação de datas de fabricação, bem como limitam o número de ordens de serviço disputando um mesmo recurso num intervalo de tempo, porém não estabelecem quando, na realidade, estas ordens podem ou devem ser produzidas. Ou seja, estes sistemas não fornecem a seqüência em que as ordens de produção devem ser processadas nem o instante de processamento de cada uma destas ordens, já que a saída do planejamento pressupõe capacidade infinita de máquina.

Quando se trabalha com um sistema JIT ou MRPII + JIT, as informações referentes à seqüência de execução das ordens não são necessárias. Isto ocorre devido às características dessa produção, que é “puxada”. Porém, quando se trabalha com o MRPII, seja em configuração pura ou híbrida com outros sistemas, percebe-se a existência de uma lacuna de informação entre os dados de saída destes sistemas e a execução no chão de fábrica.

Além desta lacuna de informação, um dado interessante, que nem sempre é convenientemente explorado, refere-se à ociosidade de equipamento. Mais do que um indicador da possível necessidade de investimentos, venda de horas para terceiros ou mesmo venda de equipamento, este dado pode ser utilizado no auxílio ao seqüenciamento de lotes, de forma que estes sejam finalizados o mais próximo possível de sua data de entrega. Isto pode ser feito, “espalhando-se” convenientemente períodos de ociosidade entre os lotes de fabricação.

A análise de qual a melhor sequência e instante de processamento dos lotes de fabricação é fundamental, porém esta pode ser uma tarefa difícil, envolvendo um grande número de variáveis, vários objetivos conflitantes e uma quantidade enorme de soluções possíveis. O equacionamento deste problema pode tornar-se ainda mais complexo se forem considerados também os períodos de ociosidade no seqüenciamento.

Métodos de programação matemática podem ser utilizados no preenchimento desta “lacuna” de informação, fornecendo ao planejador, se não a melhor sequência para execução das tarefas, pelo menos uma boa sequência, de forma que recursos de produção e matéria prima sejam racionalizados.

2.3. Alguns Métodos de Programação da Produção

São várias as técnicas que auxiliam na tarefa de planejar a produção. Pode-se destacar algumas delas, como Teoria de Filas, Simulação, Fluxos em Redes e Inteligência Artificial. Esta última, segundo Koong [1993], recentemente tem aparecido como uma alternativa para a solução de problemas de programação da produção. Contudo, grande parte da contribuição para os avanços na área de seqüenciamento vem da Pesquisa Operacional. Pode-se destacar como contribuições desta área, Algoritmos de Programação Dinâmica, Modelos de Programação Linear e Algoritmos de Programação Inteira.

Um método largamente explorado na resolução de problemas de Programação Inteira é o Método *Branch and Bound*. Como o nome indica, este método consiste em dois procedimentos principais: *Branching*, que é o processo de dividir um problema grande em dois ou mais subproblemas menores e *Bounding* que é o processo de calcular um limitante inferior para a solução ótima de um dado subproblema. As figuras 2.7a a 2.7h, a seguir, exemplificam um procedimento *Branch and Bound*, a partir de um exemplo extraído de Baker [1974].

Inicialmente, o problema P_0 , que consiste do seqüenciamento de 5 lotes é dividido em 5 subproblemas, como mostrado na figura 2.7a. Os subproblemas

encontrados têm como característica serem versões parcialmente resolvidas e problemas menores do problema original, além de serem mutuamente exclusivos e uma enumeração exaustiva do mesmo [Baker 1974].

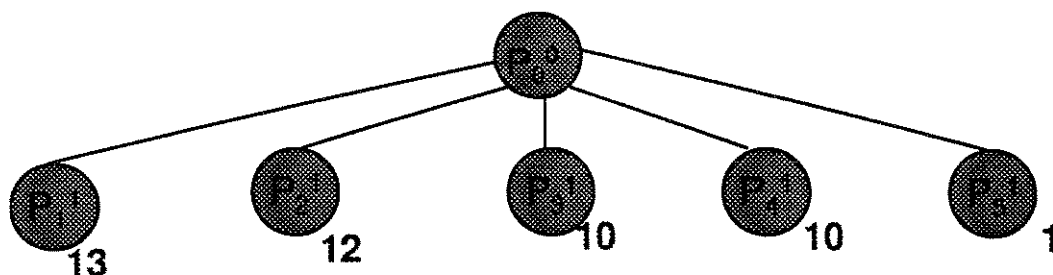


Figura 2.7a - Resolução de um Problema *Branch and Bound*

A seguir escolhe-se, dentre as soluções disponíveis, aquela que apresente o menor custo. Neste exemplo, a solução de menor custo é a do subproblema 5, que apresenta valor 1, enquanto as outras soluções apresentam valores 13, 12, 10, e 10. Desenvolve-se então o subproblema 5, sequenciando-se cada um dos lotes disponíveis antes do lote 5, e calculando-se o custo de cada uma destas seqüências, como mostrado na figura 2.7b.

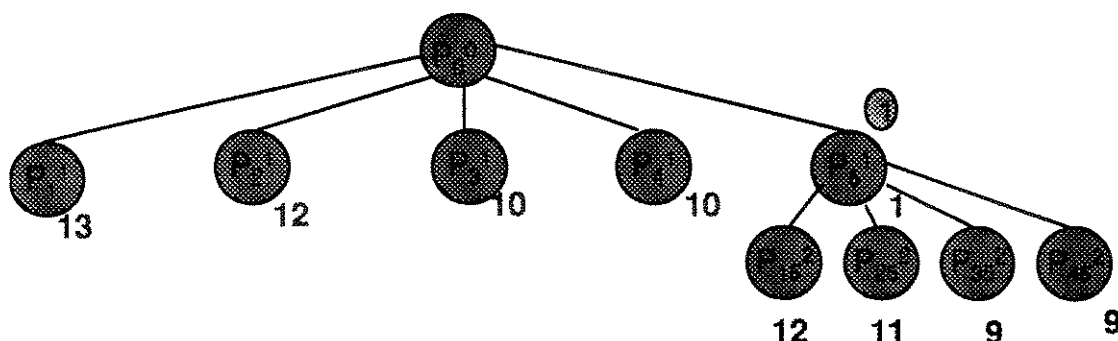


Figura 2.7b - Primeira Iteração na Resolução de um Problema *Branch and Bound*

Tem-se agora, como possibilidades de exploração, os quatro subproblemas da iteração anterior (P_1 , P_2 , P_3 e P_4) e os quatro subproblemas desta iteração (subproblemas P_{15} , P_{25} , P_{35} e P_{45}). Dentre todos, os que apresentam soluções de menor custo são P_{35} e P_{45} , com valor 9.

A figura 2.7c mostra o desenvolvimento do subproblema P_{45} .

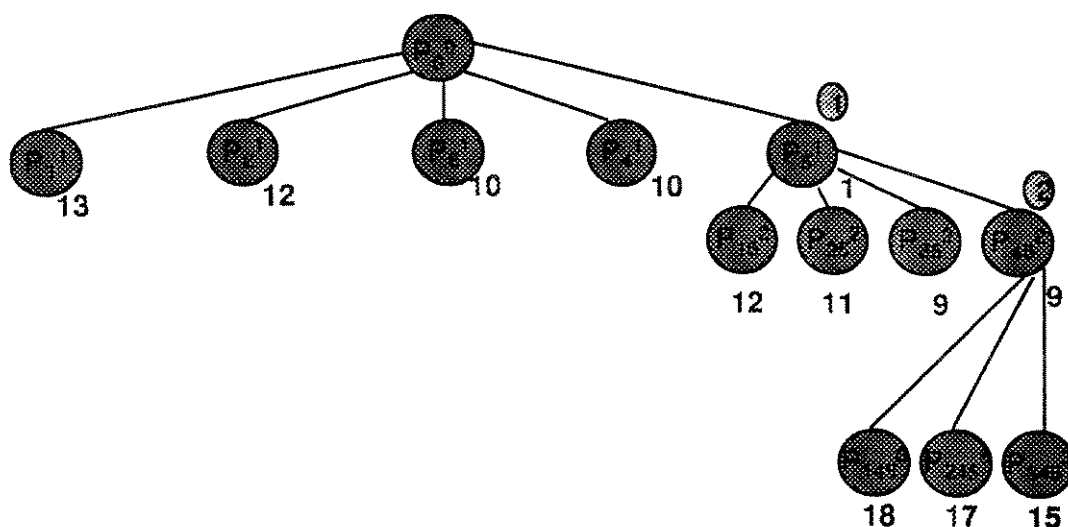


Figura 2.7c - Segunda Iteração na Resolução de um Problema *Branch and Bound*

O desenvolvimento de P_{45} resulta nos subproblemas P_{145} P_{245} P_{345} , com valores 18, 17 e 15, respectivamente. Dentre todas as possibilidades disponíveis, a que apresenta a solução de menor custo é agora P_{35} . A figura 2.7d mostra este desenvolvimento.

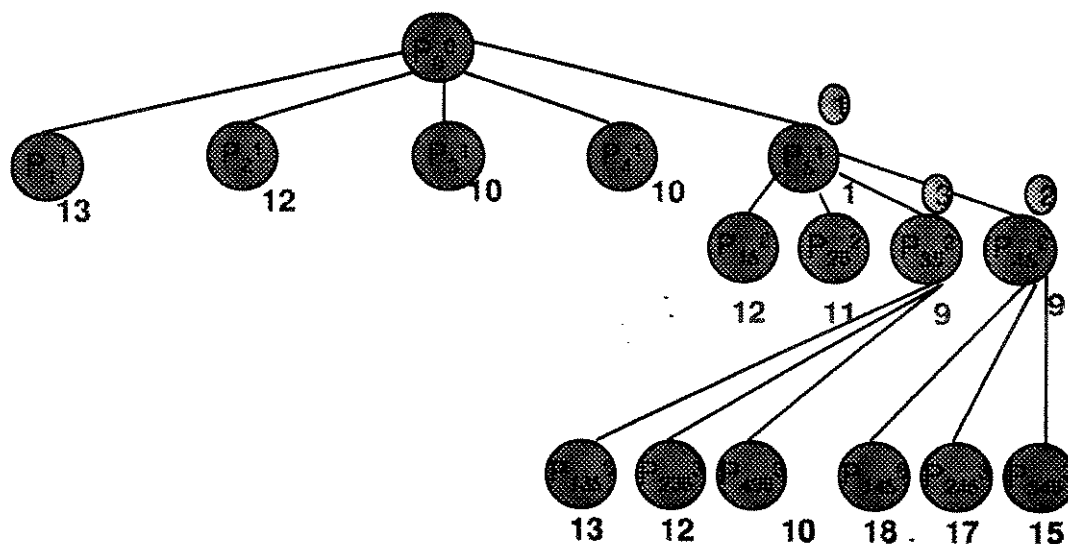


Figura 2.7d - Terceira Iteração na Resolução de um Problema *Branch and Bound*

A terceira iteração do problema resulta em 12 possíveis subproblemas ainda não explorados. Dentre todos, P_3 , P_4 e P_{435} , são os que apresentam soluções de menor

custo, com valor 10. A escolha de P_{435} para desenvolvimento é mostrada na figura 2.7e.

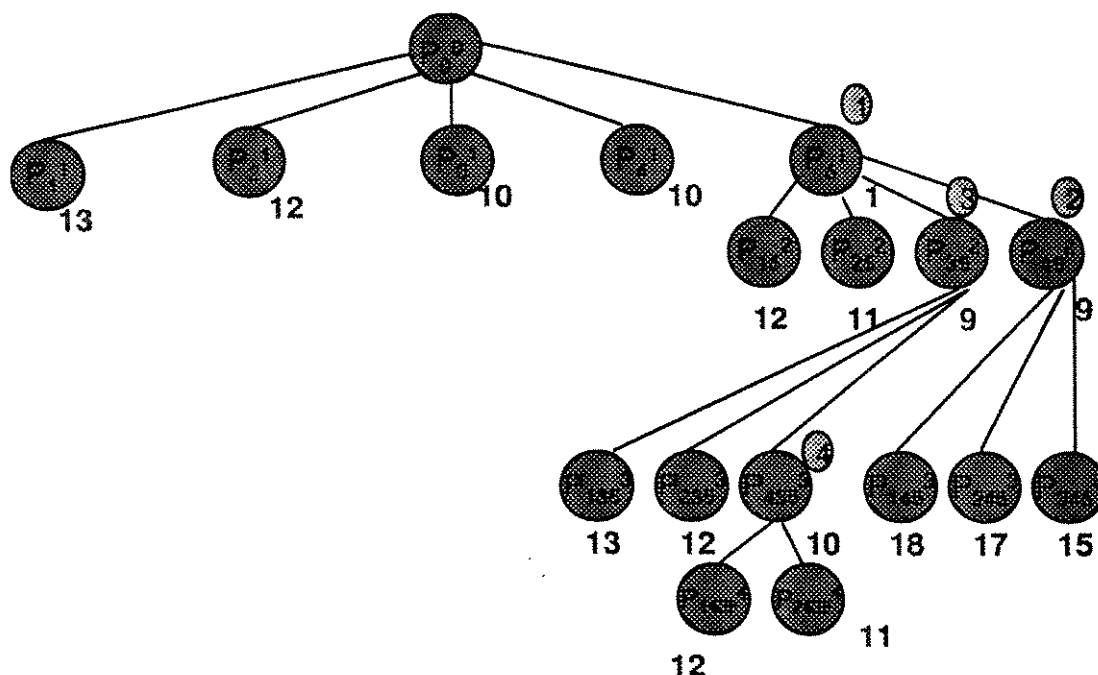


Figura 2.7e - Quarta Iteração na Resolução de um Problema *Branch and Bound*

As figuras 2.7f e 2.7g mostram o desenvolvimento dos subproblemas P_3 e P_4 .

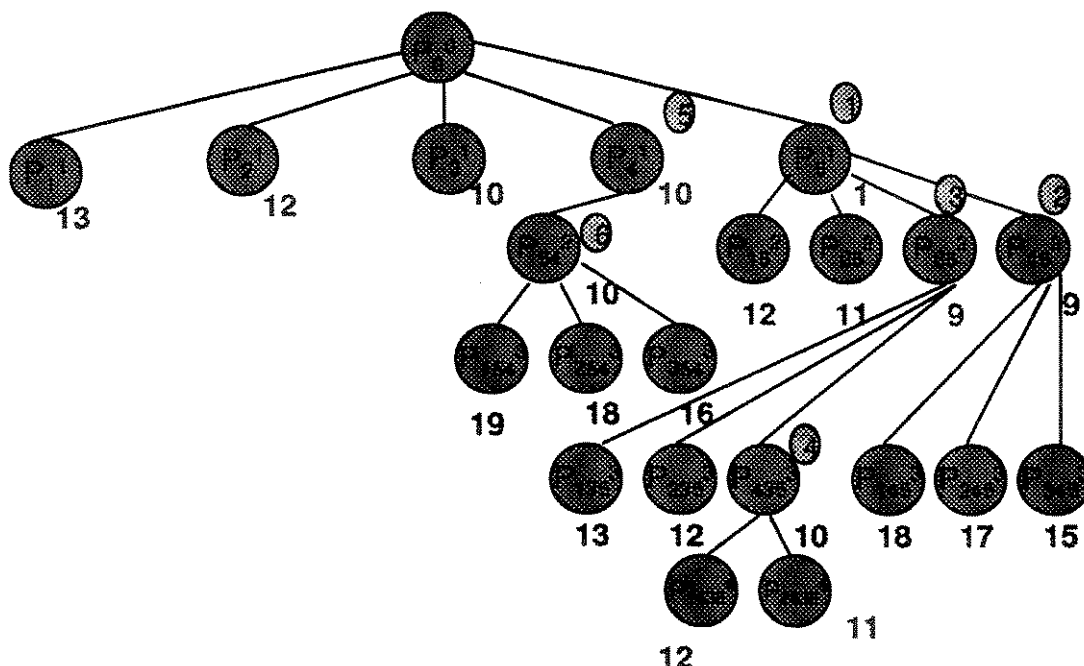


Figura 2.7f - Quinta Iteração na Resolução de um Problema *Branch and Bound*

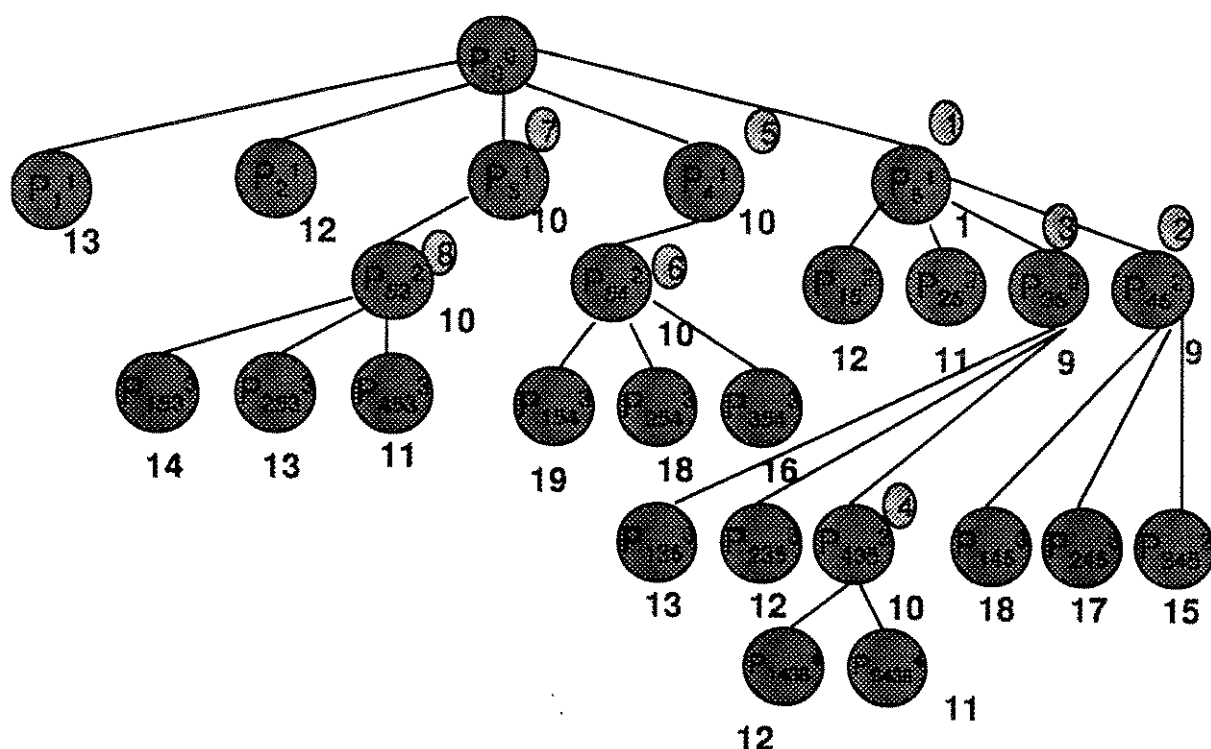


Figura 2.7g - Sexta Iteração na Resolução de um Problema *Branch and Bound*

Finalmente, a figura 2.7h mostra a solução final para o exemplo extraído de Baker [1974]. Note-se que a solução foi encontrada depois de 10 iterações, e tem como resultado final a sequência [1,2,4,3,5] e valor ótimo 11. Nota-se que a sequência [4,5,3] que também tem valor 11 pode, se explorada, apresentar um valor que na melhor das hipóteses será igual a 11, se não maior. Nenhuma outra sequência pode apresentar um valor menor (e portanto melhor) do que este.

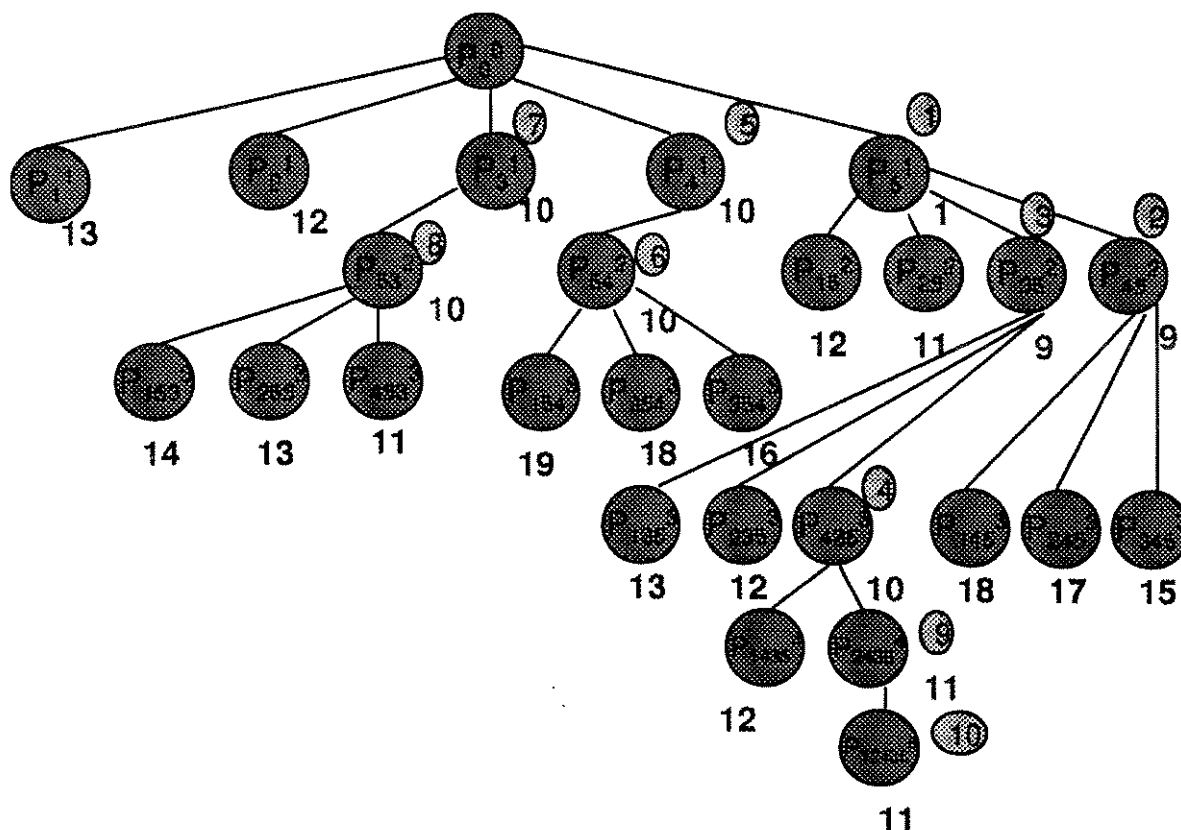


Figura 2.7h - Resultado final de um Problema *Branch and Bound* [Baker 1974]

Existem várias abordagens distintas para solução de problemas através do uso do Método *Branch and Bound*. Pode-se considerar o caso do uso de heurísticas, que apresentam boas soluções para o problema, não garantindo, porém que a solução encontrada seja ótima. Pode-se considerar também o uso de métodos exatos, que garantem a solução ótima, demandando no entanto um esforço computacional muito maior.

Para casos onde o número de tarefas a serem sequenciadas e/ou o número de máquinas em paralelo é grande, é indicado o uso de heurísticas, já que a quantidade de soluções possíveis cresce exponencialmente com o tamanho do problema. Para casos onde deseja-se sequenciar somente algumas tarefas numa única máquina, o uso de métodos exatos mostra-se adequado.

São vários os métodos disponíveis na literatura que tratam de problemas de sequenciamento utilizando o *Branch and Bound*. Em alguns problemas deseja-se a minimização dos atrasos de pedidos. Procura-se então “penalizar” pedidos finalizados

em atraso. Um exemplo é encontrado em Chen & Bulfin [1994]. Outros problemas buscam a minimização tanto dos adiantamentos quanto dos atrasos de ordens como Zeng, Nagasawa e Nishiyama [1993], Lakshminarayan et al [1978] e Herrmann & Lee [1993], que penalizam tanto ordens iniciadas adiantadas quanto atrasadas.

Alguns trabalhos são ainda mais abrangentes e buscam a minimização dos custos de produção em geral. Penalizam-se, neste caso todas as atividades consideradas como integrantes dos custos de produção, e que possam ser controladas pelo seqüenciamento, como adiantamentos e atrasos de ordens, custos de *setup* e custos de produção, entre outros, como Federgruen & Mosheiov [1994].

Para um estudo mais aprofundado do tema, pode-se consultar Graves [1981], que apresenta uma revisão de trabalhos em seqüenciamento da produção, além de Baker & Scudder [1990] que apresentam uma revisão de trabalhos em programação da produção cujo problema aborda a minimização de adiantamentos e atrasos de ordens, com penalização. Panwalkar & Iskander [1977] apresentam um resumo de regras de seqüenciamento.

Devido ao esforço computacional exigido para a resolução destes problemas, vários métodos, valendo-se de diferentes abordagens, foram desenvolvidos. Santos, [1994] destaca métodos heurísticos que exploram ótimos locais como *Simulated Annealing*, Busca Tabu e Algoritmos Genéticos. Federgruen & Mosheiov [1994] trabalham com *Greedy Heuristics*, enquanto Matta [1994] usa decomposição de Lagrange para encontrar limitantes inferiores para o processo de *bounding* de sua heurística.

2.4. A Importância da Determinação Correta dos Custos de Produção

A realização da programação da produção supõe a satisfação de restrições que dependerão do universo considerado, como por exemplo: capacidade de produção, disponibilidade de matéria prima, cumprimento de datas de entrega, minimização de estoques, entre outras. Pode-se considerar a programação encerrada quando estas restrições de factibilidade, bem como as restrições de demanda estão satisfeitas,

porém, como lembra Mirsky [1992], isto não garante a lucratividade do negócio. Logo, para quaisquer que sejam o universo considerado e o método escolhido para auxiliar na programação de produção, deve-se cuidar sempre da redução dos custos, já que isto levará a vantagens competitivas em preços ou, se o mercado o permitir, levará a maiores margens de lucros, e conseqüentemente a uma maior possibilidade de investimentos.

De acordo com Lima [1993], pode-se destacar alguns custos que se relacionam diretamente com a programação da produção:

- custo dos estoques - corresponde ao custo do produto manufaturado somado ao custo de se manter o produto armazenado, aguardando o momento de entrega. Suas implicações no fluxo de caixa da empresa afetam dramaticamente a lucratividade;
- atendimento da demanda - é importante a análise do custo/benefício da entrega de produtos na data prometida, quando em função de restrições de capacidade, não se pode atender a todos os pedidos e,
- custo de preparação de máquina - ocorre sempre que há troca de produto. A cada preparação de máquina uma certa quantidade de capacidade de produção é perdida. Esta perda de capacidade é um custo oculto que torna-se mais crítico quando é necessária uma maior capacidade de produção. Somam-se ainda a este custo aqueles relativos a materiais de limpeza e troca ou ajuste de ferramental e dispositivos, entre outros.

Com relação aos custos de preparação de máquina, duas posturas são possíveis quando se trata de minimizá-los:

- aceitá-los como decorrentes da produção - neste caso a tendência é a do aumento do tamanho dos lotes de fabricação, para se diminuir o número de preparações de máquina. Isto resulta num aumento dos níveis de estoque e,
- trabalhar no sentido de barateá-los - quanto mais baratos forem estes custos, menor influência eles terão nos custos de produção, resultando em maior flexibilidade para o tamanho dos lotes.

Resumindo, programar a produção não significa somente expedir bons produtos nas datas combinadas, mantendo-se um bom nível de atendimento ao cliente (figura 2.8.). Significa também gerenciar custos de produção e estoques, de forma que o produto possa ter preços competitivos no mercado. Para que isto ocorra é necessário conhecer estes custos, para que as decisões corretas possam ser tomadas.

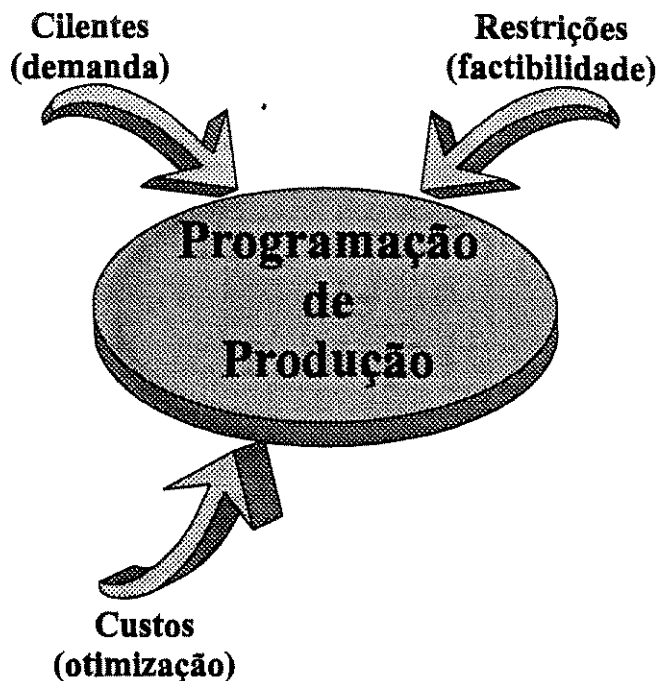


Figura 2.8 - Parâmetros da Programação da Produção [Lima, 1993]

Para se modelar e compreender os fatores que influenciam no custo de produção e se determinar a função objetivo que se deseja minimizar, pode-se aplicar técnicas de cálculo de custos, fornecidas pelos sistemas de custeio. A seguir, apresenta-se os Métodos de Custeio Tradicionais e o Custeio Baseado em Atividades (ABC).

Capítulo 3

Os Sistemas de Custeio

Há cerca de cem anos surgiram os primeiros sistemas de gerenciamento de custos. Foram desenvolvidos para indústrias têxteis, de ferrovias e de manufatura de aço e ferro. Nessa época, o trabalho direto e a manufatura eram fatores predominantes da produção [Jonhson & Kaplan, 1987], e o enfoque era o de se maximizar a utilização dos recursos de produção, como forma de se obter maiores lucros. Este tipo de abordagem era coerente com o tipo de produção disponível na época, já que os fatores básicos de produção eram matéria prima e homens hora, e a produção era em massa, com baixa diversidade de produtos e serviços.

Com base neste panorama, os sistemas de custeio tradicionais foram desenvolvidos para utilizar medidas baseadas em volume como parâmetros nos cálculos dos custos. Assim, custo de mão de obra direta, custo de matéria prima, horas de trabalho direto, horas máquina ou simplesmente o *mix* de produção passaram a ser estes parâmetros.

Segundo Brimson [1991], a manufatura tinha por objetivo a utilização máxima dos recursos de produção, sendo que o controle dos custos era focalizado para o ponto de ocorrência dos mesmos, por elemento de custo (como por exemplo equipamentos, suprimentos, planta, etc). A premissa básica destes sistemas era a de que o desperdício era gerado pelo uso ineficiente dos recursos básicos de produção.

Nos dias atuais, a utilização destes sistemas fornece uma precisão razoável no custeamento dos produtos quando a alocação dos custos está diretamente relacionada ao volume de produção. No entanto, este custeio torna-se impreciso quando a alocação de custos tem como origem atividades não relacionadas ao volume de produção, como atividades administrativas, de engenharia de produtos, de compras e vendas, etc. Ou seja, o uso de sistemas de custeio baseados em volume para atividades não relacionadas ao volume de produção, acaba por produzir custos distorcidos para os produtos [Pine II, 1993; Ostrenga, 1992].

Este capítulo aborda inicialmente os objetivos e princípios que norteiam os Sistemas de Custeio. Detém-se um pouco mais detalhadamente nos Métodos do Centro de Custos e do Custo Padrão. Discute a adequação destes sistemas no auxílio à tomada de decisões numa empresa e finalmente aborda o Sistema Baseado em Atividades.

3.1. Objetivos e Princípios

De acordo com Bacic [1990], a finalidade básica dos sistemas de custeio é:

- dimensionar, com a maior precisão possível, os custos gerados na elaboração de cada um dos produtos da empresa;
- fornecer informações básicas para o controle e para a determinação do preço de venda dos produtos da empresa;
- controlar o volume de gastos da atividade produtiva, em seus diversos setores, com a finalidade de executá-los dentro de padrões econômicos viáveis para o funcionamento da operação lucrativa da empresa e,
- avaliar e controlar as margens de lucro obtidas nos diversos produtos, em função da política de preços e estrutura de custos.

São três os princípios de custeio que podem ser usados no cálculo dos custos dos produtos, de acordo com Kliemann [1995]. São eles:

- Integral;

- Absorção e,
- Direto ou Variável.

Nos dois primeiros, Integral e por Absorção, consideram-se tanto custos fixos quanto variáveis na incorporação aos custos dos produtos. Porém esta incorporação é feita de forma distinta.

No primeiro deles, Integral, a totalidade dos custos fixos é rateada aos produtos, enquanto que no custeio por Absorção é rateada somente a parcela de custos fixos relativa ao nível de atividade normal da empresa. No Custeio Direto, faz-se uma abordagem da margem de contribuição dos produtos, considerando-se apenas os custos variáveis. Todos os demais gastos são lançados no resultado.

Ainda segundo Kliemann [1995], são quatro os métodos de custeio para cálculo da distribuição dos gastos:

- Centros de Custo;
- Custo Padrão;
- Unidades de Esforço de Produção e,
- Custeio Baseado em Atividades.

Os dois primeiros princípios (Integral e Absorção), podem ser usados com qualquer um dos quatro métodos acima. No entanto, não serão analisados em detalhes todos estes métodos, por não ser a finalidade deste trabalho. Serão abordados, brevemente, os métodos do Custo Padrão e Centros de Custo e a seguir será enfatizada a inadequação destes métodos de custeio no auxílio à tomada de decisão. Em seguida, será visto um pouco mais detalhadamente, o Custeio Baseado em Atividades.

Será apresentado, a seguir, um breve exemplo de aplicação dos três princípios citados anteriormente, utilizando-se os mesmos dados nos três casos:

Suponhamos uma empresa com um único equipamento cujos gastos mensais somam R\$10.000,00. Este equipamento tem capacidade de 480 horas mensais, sendo que no mês estudado observou-se um total de 360 horas trabalhadas, ou seja,

houveram 120 horas ociosas. Este equipamento fabrica 1 produto por hora. Teve-se então um total de 360 produtos no mês. Cada produto é vendido à R\$40,00, sendo que o custo de matéria prima é de R\$10,00.

3.1.1. Custeio Integral

Cálculo do custo da hora trabalhada:

custo unitário da hora trabalhada = $\text{R\$}10.000,00/360\text{h} = \text{R\$ } 27,78/\text{h}$

Sabe-se que o Lucro da empresa, por produto, obedece à equação:

$\text{Lucro/Produto} = \text{Preço} - \text{Custo Industrial} - \text{Custo Matéria Prima}$

ou seja: $L = \text{R\$}40,00 - \text{R\$}27,78 - \text{R\$}10,00$

Logo Lucro/produto = R\$2,22

Como a receita vale:

$\text{Receita} = \text{R\$}40,00 * 360$

$\text{Receita} = \text{R\$}14.400,00$

O total gasto com Matéria prima é de:

$\text{Custo Matéria prima} = 360 \text{ produtos} * \text{R\$}10,00 = \text{R\$}3.600,00$

E o custo dos produtos é de:

$\text{Custo Produtos} = \text{R\$}10.000,00 + \text{R\$}3.600,00 = \text{R\$}13.600,00$

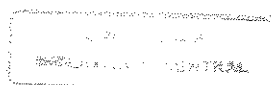
Então, o Lucro da Empresa será:

$\text{Lucro total} = \text{R\$}14.400,00 - \text{R\$}13.600,00$

$\text{Lucro} = \text{R\$}800,00$

3.1.2. Custeio por Absorção

Cálculo do custo da hora trabalhada:



custo unitário da hora trabalhada = $\text{R\$}10.000,00/480\text{h} = \text{R\$ } 20,83/\text{h}$

Aplicando-se estes valores à equação do Lucro por produto, teremos:

Lucro/Produto = Preço - Custo Industrial - Custo Matéria Prima

ou seja: $L = \text{R\$}40,00 - \text{R\$}20,83 - \text{R\$}10,00$

Logo Lucro/produto = $\text{R\$}9,17$

Como a receita vale:

Receita = $\text{R\$}40,00 * 360$

Receita = $\text{R\$}14.400,00$

O total gasto com Matéria prima é de:

Custo Matéria prima = $360 \text{ produtos} * \text{R\$}10,00 = \text{R\$}3.600,00$

O total gasto com Custos Industriais é de:

Custo Industriais = $360 \text{ produtos} * \text{R\$}9,17 = \text{R\$}7.498,00$

E o custo dos produtos aqui é de:

Custo Produtos = $\text{R\$}7.498,00 + \text{R\$}3.600,00 = \text{R\$}11.098,00$

Considerando que o custo das 120 horas ociosas é de:

Custo da Ociosidade = $\text{R\$}20,83 * 120 \text{ horas} = \text{R\$}2.499,60$

E, aqui também, o Lucro da Empresa será:

Lucro total = $\text{R\$}14.400,00 - \text{R\$}11.098,00 - \text{R\$}2.499,60$

Lucro = $\text{R\$}800,00$

3.1.3. Custeio Direto ou Variável

Aqui, a Margem de contribuição é calculada por:

MC = Preço Venda - Custo Matéria Prima

MC = $\text{R\$}40,00 - \text{R\$}10,00 = \text{R\$}30,00$

Como a receita vale:

$$\text{Receita} = \text{R\$}40,00 * 360$$

$$\text{Receita} = \text{R\$}14.400,00$$

O total gasto com Matéria prima é de:

$$\text{Custo Matéria prima} = 360 \text{ produtos} * \text{R\$}10,00 = \text{R\$}3.600,00$$

E o total de despesas é de R\$10.000,00

O Lucro será:

$$\text{Lucro} = \text{Receita} - \text{Custo Matéria Prima} - \text{Despesas}$$

$$\text{Lucro} = \text{R\$}14.400,00 - \text{R\$}3.600,00 - \text{R\$}10.000,00$$

$$\text{Lucro} = \text{R\$}800,00$$

Nos três casos chega-se ao mesmo valor de lucro para a empresa, mas a maneira como o custo do produto é calculado varia de um para outro princípio.

Nas próximas seções, descreve-se os métodos de Centro de Custos e Custeio Padrão. Em seguida, discute-se as principais limitações destes métodos no auxílio a tomada de decisão para, finalmente, se apresentar o método de Custeio Baseado em Atividades. O método das Unidades de Esforço de Produção não será abordado no contexto deste trabalho, por ter uma abordagem semelhante ao do Custeio Padrão no processo de cálculo dos custos e, no que tange ao objetivo de auxiliar o processo de tomada de decisões, suas limitações são também semelhantes.

3.2. Método dos Centros de Custo

Duas técnicas podem ser usadas com o Método dos Centros de Custo: o Custeio por Taxa e o Custeio Total.

3.2.1. Custeio por Taxa

No custeio por taxa, os custos diretos são alocados diretamente aos produtos. Os demais gastos da empresa são rateados por todos os produtos. A Figura 3.1 esquematiza a atribuição de custos por taxa.

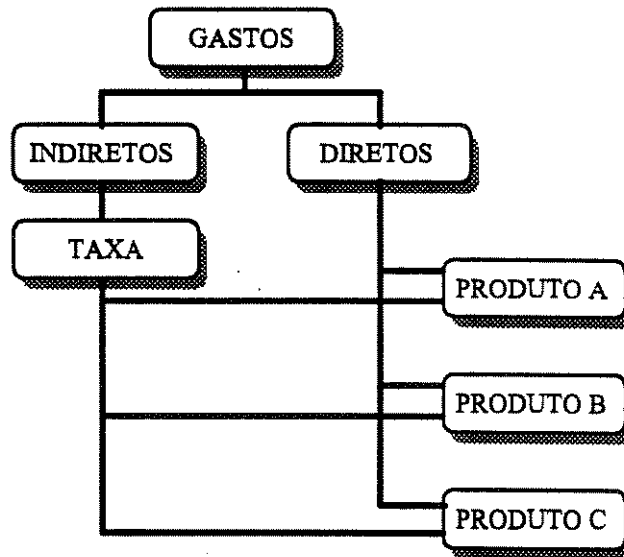


Figura 3.1 - Exemplo de aplicação do Custeio Tradicional por Taxa

O problema deste método está em que, enquanto as taxas utilizadas referem-se a atividades diretas, como por exemplo matéria prima e mão de obra direta, seus valores são aceitáveis, porém quando se trata do Centro de Custo que engloba as atividades indiretas da empresa, não existe possibilidade de se encontrar uma taxa representativa da demanda do produto pela atividade. Normalmente é atribuída uma taxa arbitrária que represente a demanda do produto por este Centro de Custo. Utiliza-se, por exemplo, o mesmo valor de um Centro de Custo representativo de atividade direta, ou alguma forma de combinação entre os valores destas taxas.

Apesar deste método, ser amplamente usado por empresas de pequeno porte, que não têm condições de manter uma estrutura mais complexa para apuração de seus custos (como marcenarias, por exemplo, que utilizam uma taxa baseada no m² de material consumido para calcular o custo dos produtos), nota-se claramente que cada

produto carregará em seu custo uma grande parcela de valores atribuídos aleatoriamente.

3.2.2. Custeio Total

Segundo Bittar Jr [1996], o Custeio Total, diferentemente do Custeio por Taxa que trata os custos indiretos de forma uniforme, considera que existem setores e departamentos nas empresas, com custos indiretos próprios e diferentes uns dos outros, como por exemplo a montagem, o tratamento térmico, ou a forjaria.

Bittar Jr [1996] destaca ainda que o Custeio Total considera também que os produtos possuem roteiros de produção específicos, não utilizando, necessariamente, os mesmos setores da empresa para serem manufaturados. A apropriação correta dos custos indiretos aos produtos implica na consideração dos diferentes setores que um produto utiliza para ser manufaturado e da somatória destes custos.

Para a contabilidade de custos, estes setores são os Centros de Custo, que podem ser definidos, como a unidade mínima de acumulação dos gastos direto e indiretos de fabricação [Bittar Jr, 1996].

Embora normalmente os departamentos das empresas tenham um único Centro de Custo, podem ocorrer casos de departamentos com mais do que um. Um exemplo seria um departamento de fabricação com três células distintas e com custos variados. No caso de existirem famílias de produtos que não se utilizem de uma destas células no seu roteiro de fabricação, a fragmentação do departamento em três centros de custos permitirá uma maior acuracidade na apuração dos custos.

Os Centros de Custo podem ser divididos em:

- produtivos ou de produção ou diretos: realizam um processo de transformação física no produto;
- não-produtivos ou indiretos: dividem-se em:
 - ♦ de serviços ou auxiliares: executam serviços, com o objetivo de auxiliar a produção;

- ♦ gerais: são os centros de custo que auxiliam na condução do negócio.

A lógica do Custeio Total, é a de transferir os custos dos centros auxiliares aos centros de produção e destes, aos produtos que por ali passam. Isto é feito através de uma matriz chamada de mapa de custos [Bacic, 1990] ou mapa de rateio [Martins, 1990], mostrado na Tabela 3.1.. Nesta matriz, as linhas definem os itens de custos e as colunas os centros de custo.

O mapa de custos possui duas fases distintas:

- distribuição primária: também chamada de apropriação de custos, é a alocação dos custos realizados para os centros de custos. Esta alocação pode ser feita de duas formas:
 - ♦ direta, através de um controle de requisições de peças e serviços, identificando os custos por centros de custo, ou através de algum instrumento de medição como por exemplo, um medidor de consumo de energia elétrica;
 - ♦ indireta, custos não identificáveis diretamente, vão para um centro de custo comum, para serem rateados através de critérios como por exemplo: apontamento, proporcionalidade do número de funcionários de cada centro ou a potência instalada dos motores dos equipamentos.
- distribuição secundária: também chamada de rateio dos custos. É nesta fase que os custos dos Centros de Custos Auxiliares, são “absorvidos”, pelos centros de produção, através da realização de rateios.

A fim de se evitar que um Centro de Custo receba custos depois de ter distribuído o seu próprio, é feita uma análise prévia da ordem de posicionamento dos centros de custo no mapa de rateio. Os centros mais abrangentes são os primeiros a efetuar tal operação. Existem casos de alocação reflexiva, isto é, um centro auxiliar, restaurante por exemplo, que rateia seus custos para outros centros auxiliares, como o departamento pessoal e vice versa. Estes casos podem ser resolvidos, através de recursos computacionais ou ignorando-se um dos rateios.

Estes rateios são feitos buscando-se critérios lógicos, para que se possa dividir os custos, da forma mais racional possível. Percebe-se na tabela 3.1. que o centro

Administração Geral da Fábrica, para onde foram alocados os gastos comuns, teve seu custo rateado por três critérios distintos, e os demais por um critério único.

Com o mapa de rateio pronto, é possível apropriar os custos indiretos aos produtos, através dos centros produtivos, onde os produtos que utilizam um determinado centro de custo produtivo, recebem uma parte deste custo, através de algum critério de rateio.

No final do mapa, é dado um exemplo do rateio dos custos para três produtos distintos. A partir do volume de utilização dos centros produtivos, obtém-se as taxas para cada centro permitindo a distribuição aos produtos. Com a somatória dos custos recebidos em cada centro de custo produtivo, obtém-se o custo dos produtos.

Há casos, onde torna-se difícil, na distribuição secundária, determinar um critério de rateio dos centros de custo indiretos gerais, para os centros de custo produtivos, pois não é possível encontrar um fator de relação entre eles.

Neste caso, pode-se adotar duas soluções: A primeira, é o uso de um critério de rateio arbitrário. A segunda opção é a não realização da distribuição secundária apropriando-se seu custo diretamente ao produto, através de uma taxa. Por exemplo, a área administrativa pode ter uma taxa, cuja base seja os custos dos centros de custos produtivos, como abaixo:

$$\text{Taxa administrativa} = \frac{\text{Custo do Centro de Custo Administrativo}}{\text{Custos dos Centros de Custos Produtivos}}$$

Para a área comercial da empresa, pode ser usado uma taxa relacionada com o faturamento dos produtos, dada a seguir:

$$\text{Taxa de comercialização} = \frac{\text{Custo dos Centros de Custo Comerciais}}{\text{Faturamento}}$$

Finalmente, as despesas financeiras, mesmo não constando no mapa de rateio, devem ser custeadas. Isto pode ser feito através de uma taxa média, sobre o faturamento, sobre o total de custos, ou em função dos prazos concedidos a cada cliente, quando houver variação significativa de prazos de vendas por cliente.

Tabela 3.1 - Mapa de Rateio dos Custos

Custos Indiretos	Usinagem	Cromeação	Montagem	Controle de Qualidade	Almoxarifado	Manutenção	Administração da Fábrica	Total
Aluguel	-	-	-	-	-	-	150.000	150.000
Energia	30.000	10.000	10.000	-	-	-	40.000	90.000
Mat. Indireto	6.000	4.000	8.000	5.000	10.000	9.000	18.000	60.000
M.O. Indireta	40.000	30.000	50.000	30.000	60.000	60.000	80.000	350.000
Depreciação	21.000	13.000	2.000	10.000	-	16.000	8.000	70.000
Soma I	97.000	57.000	70.000	45.000	70.000	85.000	296.000	720.000
Rat. Admin.	30.000	20.000	40.000	15.000	20.000	25.000	(150.000)	Aluguel
	4.000	2.000	7.000	8.000	6.000	13.000	(40.000)	Energia
	19.000	16.000	21.000	19.000	9.000	22.000	(106.000)	MI,MOI,Dep
Soma II	150.000	95.000	138.000	87.000	105.000	145.000	0	720.000
Rat. Manut.	50.000	40.000	0	40.000	15.000	(145.000)	0	
Rat. Almox.	40.000	40.000	40.000	0	(120.000)	0	0	
Rat. Qualid	68.000	44.000	15.000	(127.000)	0	0	0	
CIF X\$	308.000	219.000	193.000	0	0	0	0	
Hora maquina	350	300	193					
Hora Homem			1000\$/hh					
Taxa	880\$/hm	730\$/hm						
Produto 1001	132.000	87.600	80.000					299.600
Produto 1002	105.600	87.600	70.000					263.200
Produto 1003	70.400	43.800	43.000					157.200
Total X\$	308.000	219.000	193.000					720.000

O custo de cada produto é a somatória dos custos recebidos pelos centros produtivos, adicionado das demais taxas realizadas no sistema de custeio.

O custo unitário do produto é obtido, de modo simplificado, com a divisão do total de custo indireto, recebido pelo produto somado aos custos diretos, pela quantidade produzida.

A figura 3.2 esquematiza os passos necessários, para o cálculo do custo do produto utilizando o sistema de custeio total.

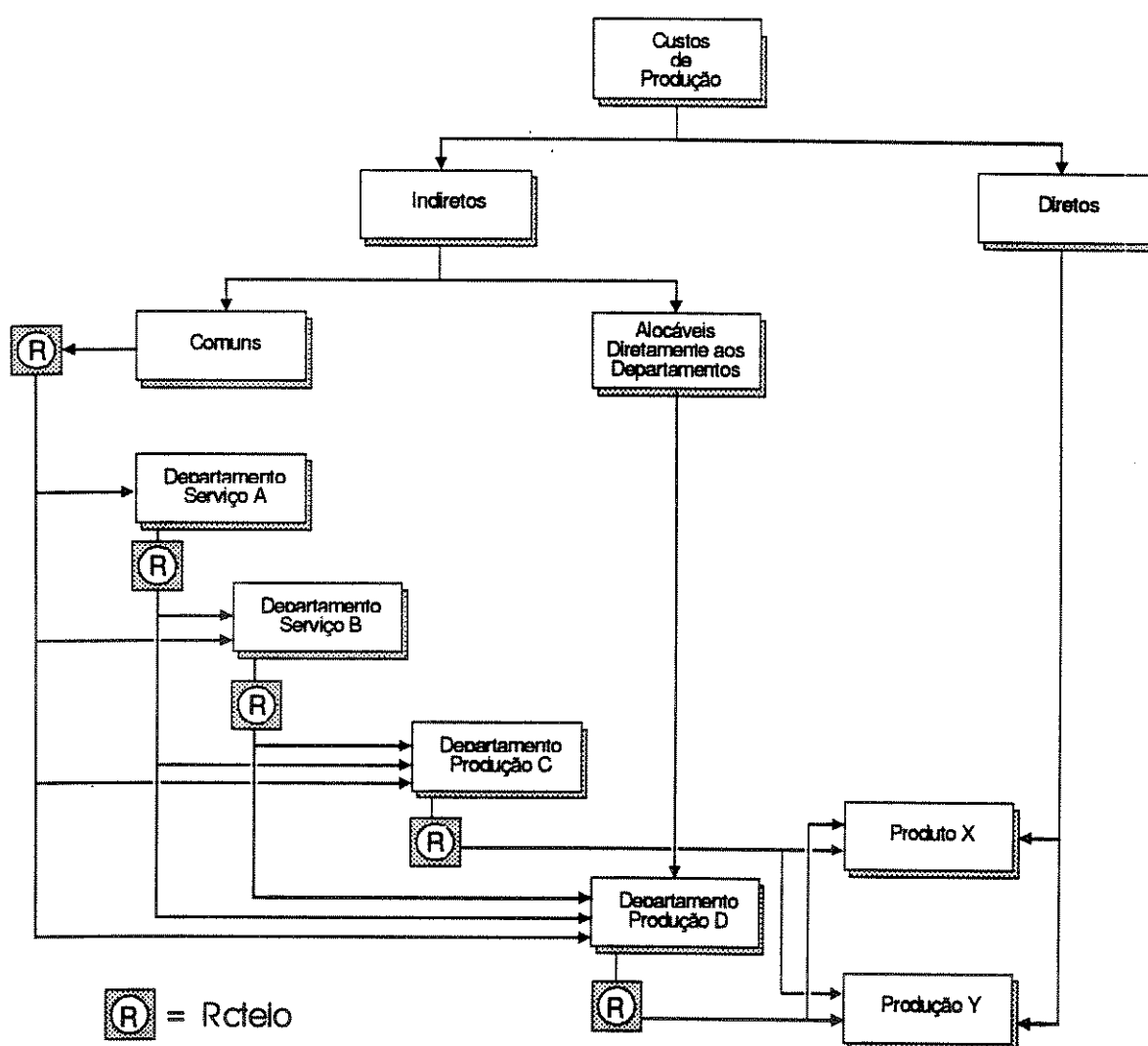


Figura 3.2. Estrutura de rateio dos custos indiretos com o método de Centros de Custos [Martins, 1990]

3.3. Método do Custo Padrão

Este método tem como abordagem a comparação entre os custos ocorridos e um padrão preestabelecido daquele custo, permitindo que se analisem diferenças e indicando possíveis ações a serem tomadas, no sentido de se eliminar estas diferenças. Para isso, pressupõe a implantação de um sistema de apuração dos custos reais, já que estes deverão ser sempre comparados com os padrões.

O padrão a ser seguido pela empresa pode basear-se em diversos critérios, como por exemplo:

- custo padrão histórico ou passado: obtido através da média do custo real de meses anteriores;
- custo padrão estimado: calculado a partir do custo passado, sendo alterado em função de expectativas quanto a prováveis alterações dos custos ou processos produtivos;
- custo padrão ideal: custo que deveria ser obtido pela empresa, nas condições de plena eficiência e máximo lucro e,
- custo padrão corrente: considera algumas ineficiências inerentes à empresa, devido aos fatores de produção disponíveis, como equipamentos, qualidade de mão de obra e matéria prima, entre outros.

Destes quatro critérios, Martins [1990], considera que os dois primeiros não são adequados, pois não motivam a empresa em busca de melhorias nos seus processos produtivos. Já Backer [1972], considera que estes dois critérios são válidos enquanto não se tem os consumos reais da fábrica.

O principal problema do custo padrão ideal está na tendência à desmotivação causada nos funcionários, já que o padrão nunca será atingido. O custo padrão corrente minimiza estes problemas de desmotivação.

3.4. Os Sistemas de Custeio Tradicionais e a Tomada de Decisões.

Segundo Pine II [1993], quando os sistemas de custeio tradicionais surgiram, tinham por finalidade atender às necessidades de uma comunidade financeira externa, e não às necessidades de quem toma as decisões dentro da empresa.

Por terem sido desenvolvidos numa época em que a realidade dos negócios era outra, estes sistemas apoiaram-se em premissas que não permaneceram necessariamente verdadeiras, na medida em que novas tecnologias foram sendo desenvolvidas e que mercados foram se tornando globalizados. Ostrenga [1992], destaca algumas destas premissas:

- a minimização dos custos de mão de obra direta era considerada a chave para a alta lucratividade;
- os custos indiretos eram baixos, comparativamente aos diretos;
- as empresas tinham uma visão predominantemente doméstica de seus mercados, fornecedores e concorrentes;
- a estratégia dominante era a de produção em massa e não a de variedade de produtos e serviços;
- a alta qualidade dos produtos ou serviços era vista como um meio para se cobrar preços mais altos e não como uma condição para permanência no mercado; e,
- os serviços desempenhavam um papel muito menor na definição da estratégia.

Em geral, a partir do momento em que estes sistemas passaram a ser usados no auxílio à tomada de decisão, isto acabou por gerar lacunas de informação. Segundo Ostrenga [1992], as únicas circunstâncias sob as quais os sistemas tradicionais são apropriados nos dias de hoje, são empresas com:

- poucas mudanças em produtos ou processos;
- poucos produtos sendo fabricados, ou poucos serviços sendo oferecidos; e
- um processo altamente intensivo de mão de obra que produz bens e/ou serviços.

PINE II [1993] defende que um dos maiores problemas destes sistemas está no uso da mão de obra direta para alocar custos gerais a produtos - “como se a mão de obra direta causasse o custo geral”. Isto faz com que a atenção gerencial se desvie do custo geral em si, para a redução da mão de obra direta, que com frequência já se tornou uma pequena porção do custo geral. E como a mão de obra direta já se tornou uma fração pequena do custo total do produto, este custo torna-se cada vez mais distorcido.

Um bom exemplo da inadequação destes sistemas no auxílio à tomada de decisão está no fato de que muitas vezes são gastos horas e talento de engenheiros de produção na tentativa de se reduzir alguns minutos de mão de obra direta, resultando num aumento dos custos gerais e do custo total, ao invés da sua redução. Outro exemplo está no fato de que as reduções de custos gerais, mesmo quando significativas, raramente são sentidas, porque pelo critério de alocação são distribuídas por todos os departamentos, sendo portanto diluídas.

Outro grande problema destes sistemas reside no fato do sistema de contabilidade estar atrelado aos relatórios financeiros. Estes relatórios são vistos como vantagens, ao invés de serem vistos como custos que podem ou não produzir retornos em mercados incertos. A periodicidade destes relatórios é mensal ou trimestral, estando portanto fora de sincronismo com os problemas da produção, que são em geral semanais ou diários. Outro ponto a se considerar é que, de acordo com as regras financeiras, custos de vendas e administração geral não estão incluídos como parte dos custos do produto, sendo deixada de lado uma grande variabilidade destes custos nos produtos. Além disso, custos fixos, como aluguel por exemplo, são arbitrariamente alocados aos custos do produto usado para tomada de decisão, mesmo que não tenham relevância. E finalmente, investimentos de longo prazo, como educação dos empregados, pesquisa e desenvolvimento e melhorias de processo, acabam sendo considerados como custos no período em que ocorreram, ao invés de serem considerados como investimentos ao longo do tempo no qual frutificarem. Assim, para alcançarem objetivos financeiros no período, companhias e divisões eliminam ou atrasam investimentos.

Todas estas distorções induzem à decisões gerenciais erradas. Não é rara a situação em que linhas de produtos lucrativos foram eliminadas ou vendidas, por se acreditar em custos distorcidos, e investimentos de longo prazo, necessários à manutenção da competitividade, foram desfeitos, porque os resultados trimestrais não pareciam suficientemente bons. Cooper & Kaplan [1988], relatam que gerentes de companhias que trabalham com múltiplos produtos, tomam importantes decisões à respeito de preços, *mix* de produtos e tecnologias de processo, baseando-se em informações distorcidas de custos. Estes custos distorcidos de hoje, são resultado de uma escolha acertada de métodos de custeio, feita há décadas atrás, quando muitas destas companhias manufaturavam uma estrita gama de produtos.

Assim, para a maioria da empresas, os sistemas de custeio tradicionais não se mostram adequados, nos dias de hoje, à compreensão e à determinação da composição dos custos de cada componente. Seu uso, acarretará na obtenção de informações distorcidas, levando à decisões gerenciais equivocadas.

3.5. O Método de Custeio Baseado em Atividades (*Activity Based Costing* - ABC)

O método do custeio ABC assume como pressuposto que os produtos e serviços oferecidos ao mercado demandam atividades e estas, por sua vez, consomem recursos. Para atender a demanda de recursos por parte das atividades, gastos devem ser realizados pela empresa para disponibilizar recursos, como esquematizado na Figura 3.3. Conseqüentemente, os recursos de uma empresa são consumidos por atividades e não pelos produtos que ela fabrica. Os produtos surgem como uma conseqüência da execução das atividades estritamente necessárias para fabricá-los e/ou comercializá-los e como forma de atender a necessidades, expectativas e anseios dos clientes. Segundo Cooper & Kaplan, virtualmente, todas as atividades de uma companhia existem para suportar a produção e liberação de seus bens e serviços. Devem portanto ser considerados como custos dos seus produtos. Esta diferença de abordagem, pode resultar num quadro com os custos dos produtos radicalmente

diferentes daqueles gerados pelos sistemas de custeio tradicionais [Cooper & Kaplan, 1988].

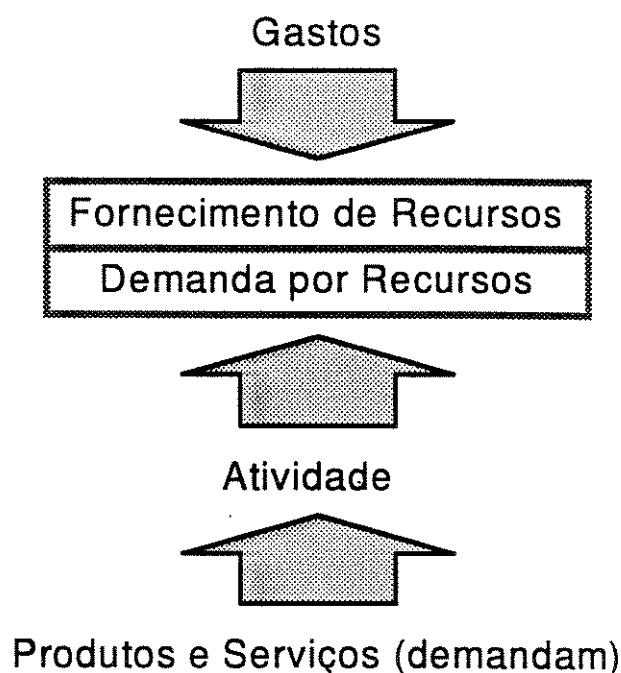


Figura 3.3 - Esquema de demanda de recursos [Ching 1995]

Uma atividade pode ser definida, em sentido restrito, como um processo que combina, de forma adequada, pessoas, tecnologias, materiais, métodos e seu ambiente, e tem como objetivo a produção de produtos [Nakagawa, 1994].

A diferença básica entre os sistemas tradicionais de custeio e o ABC está no fato que enquanto nos sistemas tradicionais os produtos consomem recursos, no ABC quem os consomem são as atividades, e estas são executadas em benefício dos produtos ou serviços [Brimson, 1991; Turney, 1992; Ostrenga, 1992].

Assim, os custos de utilização dos recursos são alocados para as atividades, através da razão ou taxa pela qual estas os consomem, denominada Direcionador de Recursos. E os custos das atividades são alocados para os produtos ou serviços, através da razão ou taxa em que estas são executadas em benefício dos produtos, denominada Direcionador de Atividades, conforme esquematizado na Figura 3.4.

No caso da alocação dos recursos para as atividades, os direcionadores de custos estão relacionados à taxa de utilização dos principais recursos consumidos pelas atividades de uma empresa: homens, máquinas e equipamentos. Na maioria dos casos, as atividades existentes em uma empresa consomem estes recursos baseado no tempo de sua utilização.

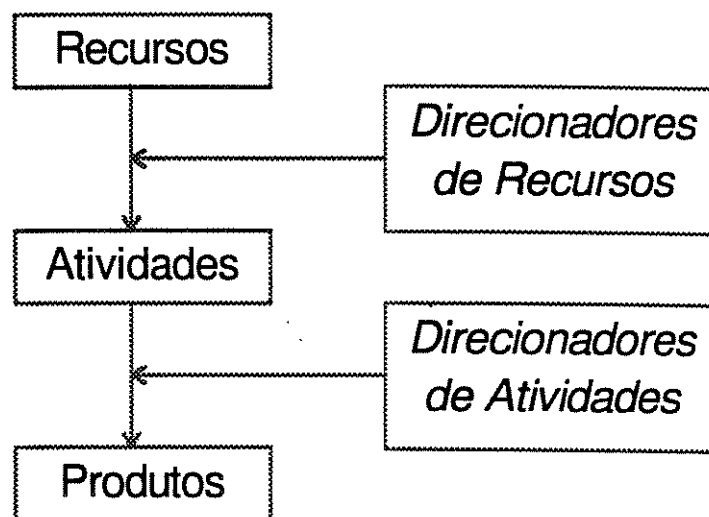


Figura 3.4 - Esquema de alocação de custos no ABC

No caso da alocação do custo das atividades para produtos, através dos Direcionadores de Atividade, é possível fazer uma separação hierárquica das atividades na formação dos custos dos produtos, conforme a causa básica geradora da realização da atividade como mostrado na Tabela 3.2. Por exemplo, o número de horas dedicadas por engenheiros (*driver* horas de engenheiros), ou o número de *batches* inspecionados pelo controle de qualidade (*driver* número de *batches*) para cada produto (objeto de custo), mede o consumo de cada produto pela atividade de engenharia ou de controle de qualidade, respectivamente [Turney, 1992]. Como consequência, os Direcionadores de atividades estarão ligados em cada caso ao fator de proporção daquela atividade. Por exemplo, os custos de *setup* devem ser alocados aos produtos na proporção do número de *setups* realizados, pois é necessário fazer um *setup* para cada lote de

produção. Os custos referentes aos demais fatores de proporção seguem a mesma lógica.

Tabela 3.2 - Modelo hierárquico de formação de custos

Fator de proporção	Atividade	Descrição
Unidade:	Atividades de produção em geral Matérias primas etc.	São custos provenientes de atividades cuja execução é proporcional a cada unidade produzida.
Lote:	<i>Setup</i> Movimentação de materiais Ordens de compra Embarques Contabilização etc.	São custos provenientes de atividades relacionadas aos lotes produzidos. Estes custos ocorrem a partir da decisão de se produzir um lote de peças, não importando a quantidade que será produzida.

Cooper & Kaplan [1988], defendem que somente dois tipos de custos devem ser excluídos do sistema de custeio ABC, ou seja, não devem ser atribuídos aos produtos individuais:

- custo de excesso de capacidade, e
- pesquisa e desenvolvimento para novas linhas e produtos.

No primeiro caso, a consideração dos custos de ociosidade no custo total do produto, poderá levar à situação conhecida como “espiral da morte”. Suponhamos uma fábrica com capacidade de produção de 1000 itens, com custos totais de manutenção da planta de R\$ 10.000,00, ou seja, a parcela de custo atribuída a cada um dos produtos pela manutenção da planta seria de R\$10,00. Se esta mesma fábrica apresentasse em determinados períodos ociosidade de equipamento, passando a produzir, ao invés de 1000, somente 500 itens, a parcela de custo atribuída a cada um dos produtos pela manutenção da planta seria de R\$20,00 ao invés de R\$10,00. O aumento do preço do produto com certeza acarretaria numa diminuição da demanda do mesmo pelo mercado, resultando num período subsequente com uma demanda

ainda menor e conseqüentemente com maior capacidade ociosa. Isto acabaria por inviabilizar a produção.

No segundo caso, o lançamento dos custos de Pesquisa e Desenvolvimento no período em que ocorreram, pode acabar por desincentivar melhorias e lançamentos de novos produtos, acarretando, a longo prazo, em perda de mercado. Cooper & Kaplan [1988], recomendam a separação de investimentos em Pesquisa e Desenvolvimento em duas categorias:

- melhorias e modificações em produtos e linhas de produtos já existentes, e
- melhorias e modificações em novos produtos.

No primeiro caso, os investimentos devem ser atribuídos aos produtos que irão se beneficiar dos investimentos, caso contrário este custo seria distribuído a produtos e linhas não relacionados a este investimento.

No segundo caso, a contabilidade financeira deve tratar este custo como um custo do período em que ele ocorreu, porém o sistema de gerenciamento de custos, ao contrário, deve tratá-lo como investimento futuro.

Estes exemplos mostram que um sistema de custeio baseado em atividades leva à análises de custo de produto e rentabilidade muito diferentes daquelas realizadas por um sistema de custeio tradicional, facilitando a tarefa de quem deve tomar decisões dentro da empresa. Com um sistema de custeio que forneça informações mais confiáveis, decisões a respeito de desativação de linhas de produtos não rentáveis, ou estratégias para produtos de alto volume, ficam mais simplificadas. Além disso, por usar um maior número de Direcionadores de Atividades, o ABC com frequência apresenta resultados superiores aos dos custeios tradicionais, que geralmente só utilizam as horas de trabalho direto como Direcionador de Atividade. Com isto o custeio dos produtos fica mais confiável.

Além disto, a informação gerada por um sistema de custeio ABC pode também encorajar a companhia a redesenhar seus produtos de forma a que estes se utilizem de mais partes comuns, aumentando a padronização das partes de produtos. Ajuda também na identificação do número de transações necessárias em cada etapa da fabricação, contribuindo para sua racionalização.

Assim, se por um lado representa exigência legal o uso de sistemas de custeio tradicionais, por outro lado é claro que estes sistemas não auxiliam o planejador nas tomadas de decisão e, mais que isso, informações distorcidas fornecidas por estes sistemas levam a decisões gerenciais equivocadas.

Isto posto, em geral, parece clara a necessidade da manutenção de dois sistemas de custeio em paralelo: o primeiro deles para atender às exigências legais da empresa, e o segundo como um sistema de auxílio à tomada de decisão gerencial.

Capítulo 4

O ABC Como Ferramenta de Auxílio ao Seqüenciamento

Ferramentas que auxiliem o planejador na tarefa de decidir qual a melhor seqüência de produção, de forma a se otimizar custos, respeitando-se ao mesmo tempo prazos de entrega, são uma necessidade no ambiente fabril.

Dentre as técnicas de seqüenciamento, o *Branch and Bound* mostra-se especialmente atraente pois, por ser largamente estudado, apresenta muitas possibilidades de melhoria nas técnicas de resolução do problema.

Com a finalidade de apresentar uma ferramenta de seqüenciamento de produção, utilizando o método *Branch and Bound*, discute-se neste capítulo, quais os parâmetros relevantes numa Função Objetivo, que vise a minimização dos custos de produção e entrega de pedidos dentro dos prazos. Descreve-se a seguir o problema estudado e os custos envolvidos na produção. Descreve-se como as ociosidades de máquina foram consideradas no seqüenciamento e como o ABC foi usado para determinação dos recursos e atividades relevantes na produção. Finalmente é determinada a Função Objetivo a ser minimizada utilizada no problema.

4.1. Determinação dos Parâmetros da Função Objetivo

Alguns dos parâmetros de uma função objetivo que busque a otimização de uma sequência de produção, parecem ser consenso para qualquer tipo de empresa, como por exemplo a diminuição de pedidos entregues em atraso. Mais recentemente, como bem destacam Baker & Scudder [1990], Herrmann & Lee [1993] e Federgruen & Mosheiov [1994], com o crescente interesse por técnicas de produção *Just In Time*, passou a ser do interesse geral a produção dos pedidos o mais próximo possível de sua data de entrega, otimizando-se assim custos de estocagem de produtos acabados.

Além disso, deve-se considerar que a produção de um pedido o mais próximo possível de sua data de entrega, reduz o risco de alteração ou cancelamento deste após a produção do item (que pode ser bastante rápida) ter sido realizada. No caso de alterações, se o cliente aumentar a quantidade pedida, gera-se a necessidade de um novo *setup* da máquina e demais atividades associadas ao lote, como por exemplo o transporte. Conseqüentemente, aumenta-se os custos de produção.

Se, no entanto, o cliente reduzir a quantidade pedida ou mesmo cancelar o pedido, uma série de peças vão ficar armazenadas por um período desconhecido de tempo, aguardando um novo pedido do cliente para este item. Este segundo evento, pode ser particularmente grave no caso de clientes ou itens que são produzidos e entregues sem novas previsões de entregas futuras.

Se a diminuição de produtos finalizados muito antes da data de entrega passou a ser uma meta, a diminuição de produtos finalizados em atraso é consenso há muito tempo nas empresas.

No entanto, a ponderação do parâmetro relativo às entregas de pedidos em atraso não é facilmente identificável. Deve-se levar em consideração que um pedido atrasado de um grande cliente é muito mais oneroso que um pedido atrasado de um cliente ocasional. Sabe-se que, em geral, a curva de Faturamento X Cliente é similar à mostrada na Figura 4.1. Nesta figura observa-se que um pequeno número de clientes (em torno de 20%) é responsável por grande parte do faturamento da empresa (em torno de 70%). Estes clientes serão chamados de “Clientes A”. Aproximadamente 30% dos clientes respondem por outros 25% de faturamento (“Clientes B” na figura). Os 50% restantes dos clientes

respondem por apenas 5% do faturamento. São chamados “Clientes C” na figura em questão.

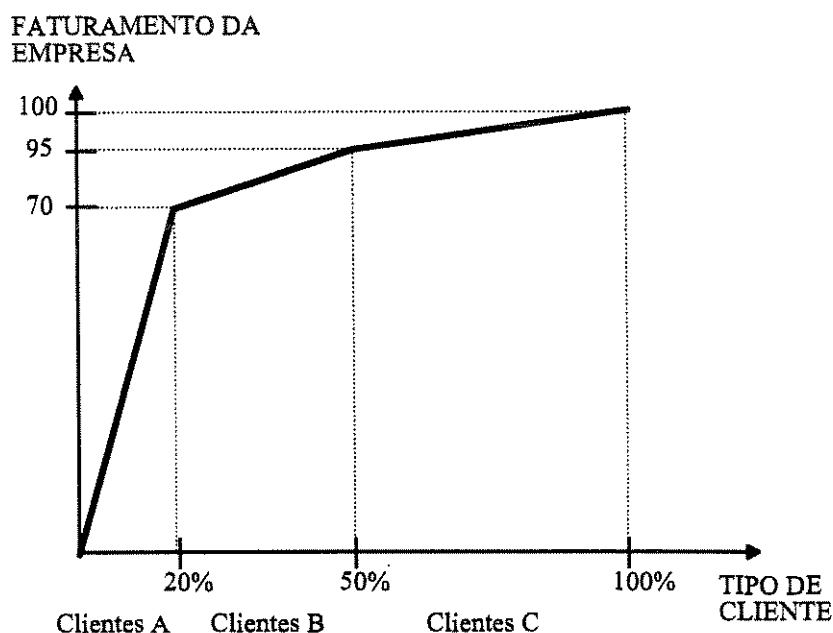


Figura 4.1 - Gráfico de Faturamento da Empresa X Tipo de Cliente

É portanto lógico que um atraso de pedido para cliente do tipo “A” seja muito mais importante para a empresa do que um atraso de pedido para cliente do tipo “C”. Isto ocorre devido a multas contratuais, prejuízos para a marca do produto, perda de confiabilidade e eventual perda do próprio cliente. É então interessante o uso de critérios diferenciados na hora de se ponderar parâmetros relativos a eventuais atrasos de pedidos, de acordo com o “Tipo de Cliente”. Pode-se assumir, por exemplo, que as perdas monetárias por entrega de produto atrasado respeitam curvas do tipo das mostradas na Figura 4.2. Aqui, os fatores de multiplicação *a*, *b* e *c* são aplicados de acordo com o Tipo do Cliente. Para “Clientes A” usa-se o fator de multiplicação “*a*”. Para Clientes “B” o fator “*b*” e finalmente, o fator “*c*” é usado para Clientes “C”.

Assim, embora seja consenso que adiantamentos e atrasos de ordens devam estar considerados numa função objetivo que busque a melhor seqüência de execução de pedidos, nota-se que cada empresa deverá cuidar para que as equações que descrevem estes fenômenos (quadrática, exponencial, etc.), bem como seus fatores de ponderação (“*a*”, “*b*” e “*c*” na Figura 4.2), modelem a sua realidade em particular.

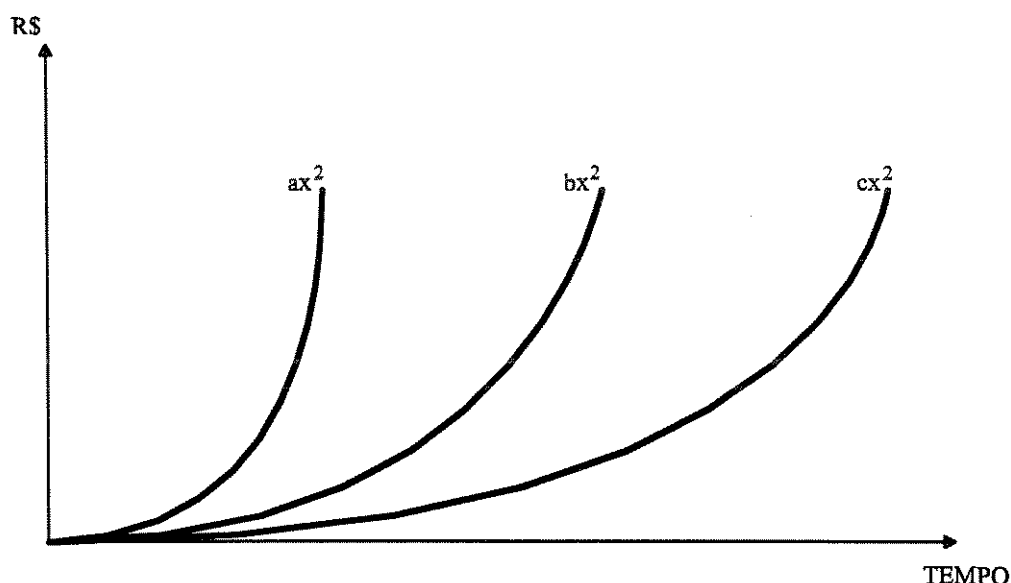


Figura 4.2 - Exemplo de Curvas de Perda Monetária X Tempo, de acordo com o Tipo de Cliente

Além de adiantamentos e atrasos, existem parâmetros que dizem respeito à situações específicas de cada empresa. Assim, os tempos de *setup*, por exemplo, podem ou não ser considerados numa modelagem de otimização. Para algumas empresas, este tempo é irrelevante, para outras este tempo deve ser considerado no tempo total disponível, por representar parcela significativa do mesmo. Existem ainda casos onde o *setup* dependerá da seqüência de execução dos lotes.

Assim é importante a especificação de cada um dos fatores que realmente influem nos resultados da função que se deseja otimizar. De igual importância é a ponderação de cada um destes fatores, de forma que os resultados encontrados pelo programa de seqüenciamento sejam confiáveis, por serem um reflexo da realidade da fábrica .

Na medida em que as técnicas de Custeio ABC propiciam o levantamento de todas as atividades envolvidas no processo produtivo e as custeiam, facilitam a compreensão de cada um dos fatores que compõem o custo final de um produto e podem também ser utilizadas na determinação dos elementos que compõem uma função objetivo, cuja finalidade seja a otimização dos recursos de equipamento, de pessoal e de matéria prima, num seqüenciamento de produção.

Assim, quando da utilização de técnicas de seqüenciamento de ordens, ao invés de se utilizar uma função objetivo com valores determinados focando-se somente os custos diretos, pode-se estabelecer precisamente os elementos da função objetivo que foquem as atividades num contexto mais amplo e os valores de seus coeficientes de custo, de forma a se ter resultados claros e reais, que auxiliem o planejador em suas decisões.

No caso, por exemplo, de se apurar os coeficientes que ponderam parâmetros de *setup* ou ociosidade de máquina, deve-se levar em consideração o custo de se ter máquina e mão de obra ociosa, aí envolvidos custos relativos à depreciação do equipamento, além de Salários & Encargos. Já o custo de energia elétrica, não deve ser considerado como um dos fatores que compõem o coeficiente de ponderação do parâmetro ociosidade de máquina. Energia elétrica poderá ser considerada no *setup*, se for o caso.

4.2. Descrição do Problema

Para exemplificar a aplicação do ABC na modelagem da Função Objetivo, descreve-se neste trabalho a aplicação desta proposta em um estudo de caso de uma empresa de extrusão de plástico, que serviu como laboratório no estudo de um modelo de seqüenciamento.

A empresa fabrica chapas de plástico sob encomenda, onde variam a cor, a largura e a espessura do produto, de acordo com especificação do cliente, gerando um número bastante elevado de produtos acabados (aproximadamente 1000).

O principal problema da grande gama de produtos fabricados está em que, dependendo da variação da largura e/ou espessura entre as chapas que entram e saem de uma máquina, pode-se ter *setups* maiores ou menores. Além disso, dependendo da variação de cor entre as chapas, existirá uma maior ou menor “perda” de material, em função da necessidade de limpeza do equipamento.

Na verdade o material gerado com a troca de cor entre chapas não é perdido. Este material (mescla) será moído e reutilizado na confecção de chapas pretas, sendo

que, dependendo da espessura da chapa, será necessária depois da moagem, uma etapa de recuperação, conforme o esquema de fluxo de materiais mostrado na Figura 4.3. Porém, é do interesse da empresa a minimização da geração deste tipo de material, já que além de exigir um trabalho adicional para seu reaproveitamento (moagem e eventual recuperação), este insumo só poderá ser utilizado na confecção de chapas pretas.

Sendo assim, o objetivo do seqüenciamento é o de apresentar uma seqüência de produção, de forma que a geração de material mescla e os tempos de *setup* sejam minimizados e os pedidos sejam atendidos tanto quanto possível dentro dos prazos de entrega.

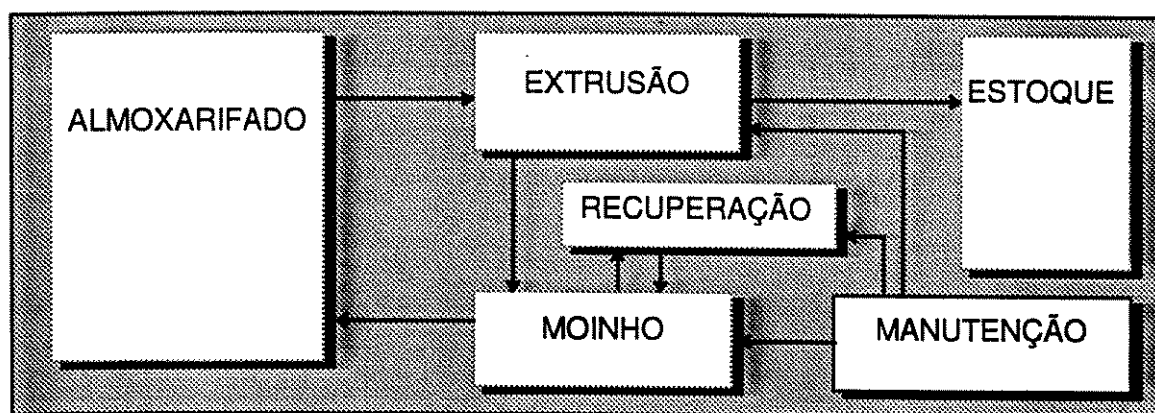


Figura 4.3 - Fluxo de Materiais na Fábrica

4.3. Os Custos Envolvidos na Produção

Sabendo-se que variações de largura, espessura e cor entre chapas que entram e saem de uma máquina influenciam o tempo de *setup*, foram criadas matrizes referentes a estes tempos, como mostrado na Tabela 4.1. Cada um destes atributos (largura espessura e cor) terá uma matriz com dados sobre o tempo necessário no *setup*, quando ocorrem mudanças de atributos entre o pedido atual e o próximo a entrar na máquina.

Tabela 4.1 - Matriz para tempo de *setup* de acordo com a variação dos atributos das chapas que saem e entram na máquina

	De A para B	De B para C	De C para D	De D para E
De A para B	0	X	Y	Z
De B para C	X	0	X	Y
De C para D	Y	X	0	X
De D para E	Z	Y	X	0

Em geral, o *setup* para troca de dimensão da chapa, tanto na espessura quanto na largura, é realizado com a máquina parada e, neste caso, os custos de *setup* se compõem do custo da hora máquina parada e custo de mão de obra. Além disso, estes tempos se sobrepõem, ou seja, considera-se somente o maior dos dois.

No entanto, quando a diferença de largura entre a chapa que sai e a que entra for menor ou igual à 3 cm, o *setup* de largura poderá ser realizado com a máquina em funcionamento. Isto ocorre porque, devido a restrições operacionais, as chapas são fabricadas com, em média, 5 cm de folga nas laterais. Esta folga é cortada durante a confecção das chapas, gerando um “refugo de produção”. Quando a diferença entre as chapas é pequena, é possível o reposicionamento das lâminas que cortam as laterais das chapas, com a máquina em funcionamento. Isto acarreta porém no aumento do refugo de produção.

A mudança de cor entre chapas acarretará na extrusão de algumas chapas com uma cor “intermediária”. Isto acontece porque o pigmento de cor do primeiro lote de chapas impregnará o segundo lote, até que seja totalmente eliminado. Estas chapas com cor “intermediárias”, também chamadas de “mescla” deverão ser recicladas, o que acarreta em custo para a empresa. O *setup* para troca de cor é realizado com a máquina em funcionamento. Para determinação dos custos do *setup* de cor devem ser

considerados os custos da hora máquina em produção, da mão de obra, de energia e também os custos associados à reciclagem do material mescla gerado.

Como a especificação da quantidade, em cada pedido de venda, é feita em kg, é necessário calcular o tempo de processamento de cada pedido. Observa-se que como a abertura de saída da máquina é um retângulo, cuja área varia de acordo com a largura e a espessura da chapa que se deseja produzir como mostrado na Figura 4.4, a quantidade de material processada será maior ou menor, de acordo com as especificações de cada chapa.

Sabe-se que a quantidade de material processada, em kg/h, obedece a seguinte equação, obtida empiricamente na empresa:

$$P(x) = 0.0428571x + 285,71428,$$

onde x representa a área da abertura de saída da máquina, ou seja a largura da chapa multiplicada pela sua espessura, em milímetros.

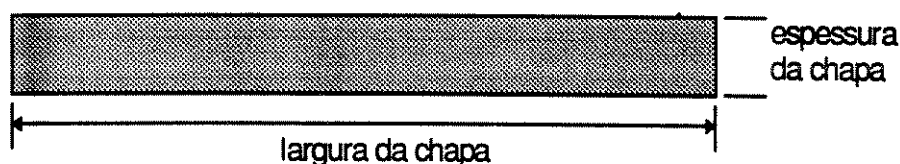


Figura 4.4 - Abertura de saída da máquina. Dimensões variam de acordo com largura e espessura da chapa

Pode-se, então, determinar qual o tempo de processamento necessário à execução de cada pedido e, conseqüentemente, quais as respectivas datas ideais de início de produção.

4.4. A Consideração das Ociosidades no Seqüenciamento

Um ponto normalmente desprezado pelos programas de seqüenciamento, diz respeito aos tempos ociosos de máquina. Usualmente estes tempos são seqüenciados antes ou depois dos lotes de produção ou são simplesmente desconsiderados, como mostrado na Figura 4.5. Isto ocorre porque a consideração das ociosidades de máquina não altera a seqüência ótima de produção dos lotes. Uma abordagem interessante, no entanto, seria a de se utilizar o tempo ocioso de forma que o resultado encontrado por um programa de *Branch and Bound*, fornecesse não somente a melhor seqüência de produção, juntamente com o custo associado à fabricação dos pedidos na seqüência estabelecida, mas também o melhor instante de início de cada ordem, de forma que as expedições acontecessem tanto quanto possível dentro dos prazos.

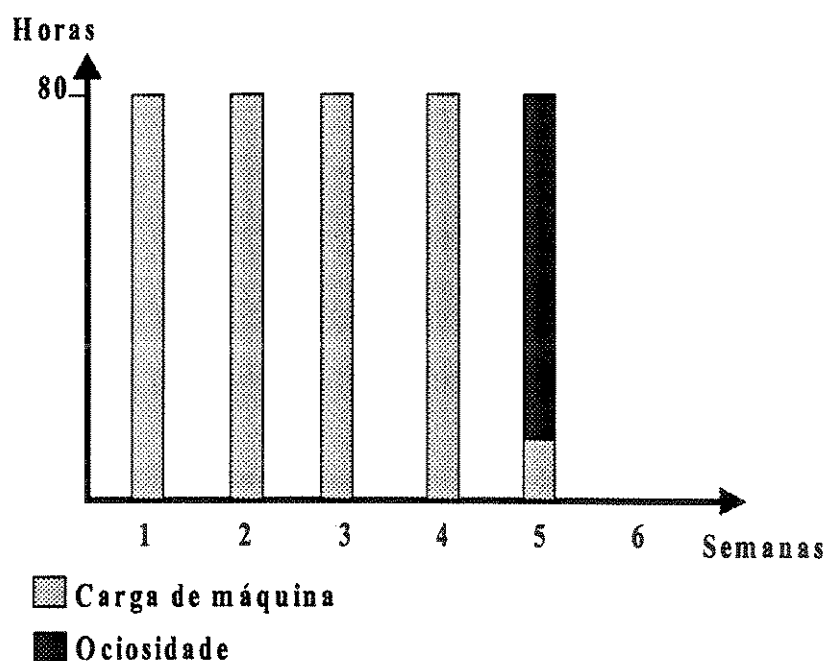


Figura 4.5 - Exemplo de Seqüenciamento onde são desconsiderados os Períodos de Ociosidade de Máquina

Um possível tratamento para os tempos ociosos é a sua subdivisão em intervalos de tempo. Conhecendo-se o tempo de processamento total de cada pedido, obtêm-se o tempo total de processamento de todas as ordens, num dado período de planejamento. A

subtração deste tempo do tempo total disponível no período, dará o tempo total ocioso no período. Este período ocioso pode ser dividido em “intervalos de ociosidade” e estes intervalos seqüenciados juntamente com os lotes de produção, garantindo uma seqüência ótima de produção e indicando as datas ideais de início para cada lote.

Por simplicidade, estes intervalos podem ser todos de tamanho idêntico e com uma duração considerada conveniente pelo planejador. Cada um destes intervalos de tempo pode ser tratado como um lote de fabricação a ser seqüenciado juntamente com os lotes de produção existentes na fábrica. Deve-se levar em conta que a ociosidade também tem um custo e que o mesmo deve ser convenientemente apurado para que o resultado do seqüenciamento esteja o mais próximo possível da realidade.

A Figura 4.6 mostra um exemplo de seqüenciamento de lotes onde os períodos de ociosidade foram convenientemente “espalhados” entre os diversos pedidos seqüenciados.

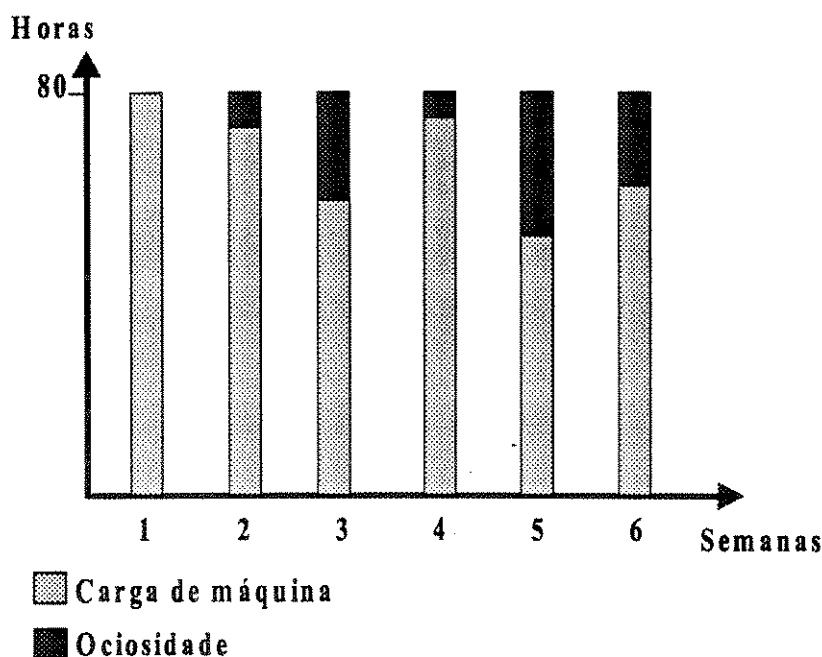


Figura 4.6 - Exemplo de Seqüenciamento considerando-se Períodos de Ociosidade

A título de ilustração, considere-se o seguinte exemplo, onde são apresentados pedidos de venda para os próximos cinco dias, juntamente com os respectivos tempos de processamento e períodos de entrega, como mostrado na Tabela 4.2. A Figura 4.7a

mostra uma alocação direta destes pedidos à extrusora, considerando-se a data mais tarde de fabricação de cada pedido e capacidade infinita. No resultado, pode-se observar que os intervalos 1 e 4 apresentam sobrecarga, enquanto os intervalos 2, 3 e 5 apresentam ociosidade. Este tipo de perfil de carga de máquina, com alguns períodos apresentando sobrecarga enquanto outros apresentam ociosidade é característico de um planejamento com capacidade infinita. Perfis de carga semelhantes a este são apresentados pelo MRP-CRP ao planejador, que deve então decidir sobre realização de horas extras ou realocação de ordens.

Tabela 4.2 - Exemplo de pedidos de venda para os próximos 5 dias

Pedido	Tempo de Processamento(h)	Período de Entrega (dia)
A	13	1
B	11	1
C	6	2
D	10	2
E	10	3
F	8	3
G	7	4
H	9	4
I	9	4
J	11	4
K	11	5

Número de horas disponíveis por dia: 22

Tempo total de processamento das ordens disponíveis : 105

Tempo total de ociosidade: 5 horas

Usualmente, as ferramentas que auxiliam o planejador na realocação das ordens de serviço desconsideram os períodos de ociosidade. Estas ferramentas sequenciam

todos os lotes de fabricação deixando toda ociosidade disponível, para o final do seqüenciamento. Uma das propostas deste trabalho é justamente dividir este tempo total ocioso em intervalos de ociosidade. Estes intervalos podem então ser seqüenciados juntamente com os lotes de fabricação, garantindo que a fabricação destes lotes seja iniciada o mais próximo possível de suas datas ideais de início. Isto, como foi discutido no capítulo 2, não é garantido pelas programações *forward* e *backward* convencionais.

A Figura 4.7b mostra o resultado de uma alocação dos pedidos, onde as horas extras são minimizadas e as ociosidades consideradas como “lotes de fabricação”.

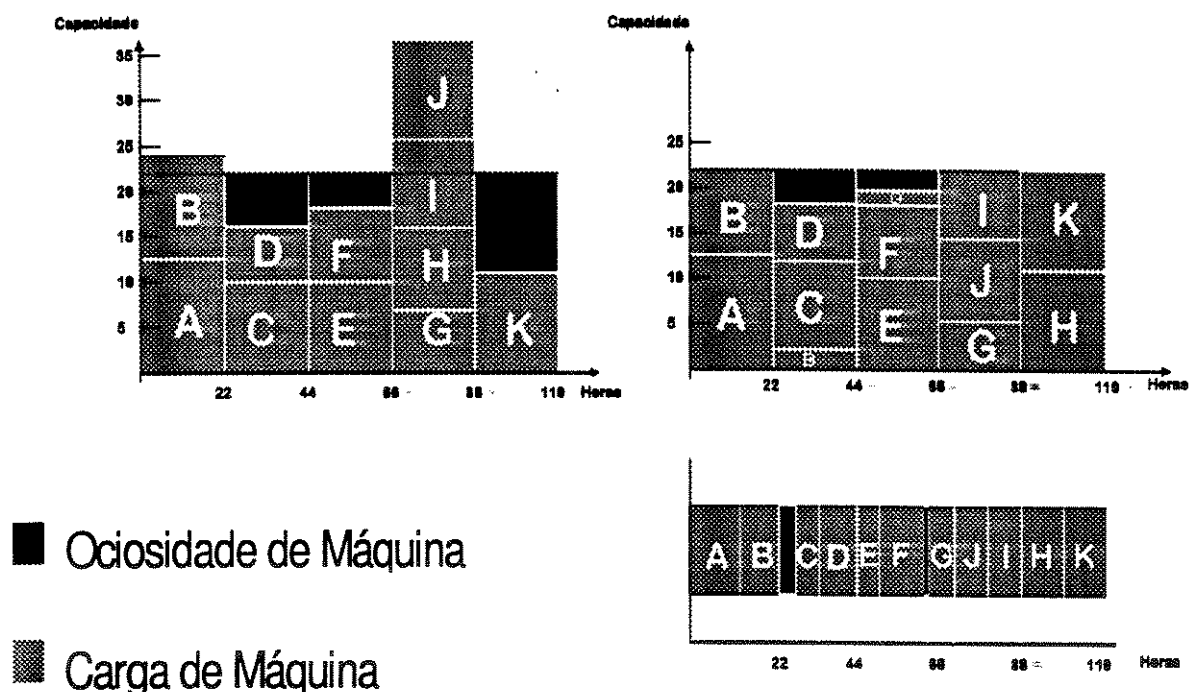


Figura 4.7a - Alocação direta dos pedidos à Extrusora

Figura 4.7b - Alocação de Pedidos com Minimização de Horas Extras e Consideração das Ociosidades

4.5. O ABC, na Determinação dos Recursos e Atividades Relevantes

Usando-se o ABC, chegou-se aos seguintes Recursos e Atividades, relevantes no processo de extrusão, mostrados nas Tabela 4.3 e 4.4. Relacionando-se desta forma os recursos e atividades envolvidos no processo de extrusão, torna-se mais clara a determinação das atividades necessárias à confecção de chapas grossas ou finas, possibilitando, portanto, a justa atribuição de custos a cada uma delas.

Cumprе salientar que a reciclagem do material originado na extrusão de chapas grossas é realizado somente com o processo de moagem, enquanto que a reciclagem de material originada na extrusão de chapas finas exige a moagem e a recuperação do material.

Tabela 4.3 - Lista dos Recursos considerados no Modelo de Custos

RECURSOS
Energia Elétrica
Salários, Encargos e Benefícios
Depreciação da Extrusora
Material de Consumo
Manutenção da Extrusão
Material de Manutenção
Depreciação do Moinho
Manutenção do Moinho
Depreciação da Recuperadora
Manutenção da Recuperadora
Custos do Espaço Físico
Combustível

Tabela 4.4 - Lista das Atividades consideradas no Modelo de Custos

ATIVIDADES
Processo de Extrusão
Ociosidade de Extrusão
Manutenção de Extrusão
Processo de Moagem
Ociosidade de Moinho
Manutenção de Moinho
Processo de Recuperação
Ociosidade de Recuperadora
Manutenção de Recuperadora
Setup Cor
Setup Largura
Setup Espessura
Armazenagem Material
Transporte Material
Transporte Material a ser recuperado

4.6. A Determinação da Função Objetivo

Com auxílio do ABC, foram considerados custos relevantes aqueles relativos a ociosidades de máquina, atrasos e adiantamentos de pedidos, custos de setups de largura, espessura e cor de chapas, custos de reciclagem de refugos de produção, além de custos da produção do pedido. Estes parâmetros foram, portanto, considerados na Função Objetivo que deseja-se minimizar. Os custos relativos a atividades de manutenção não aparecem diretamente na Função Objetivo, porém, por estas serem atividades de apoio para extrusão, moagem ou recuperação, têm seus custos incorporados nestas atividades. Além disso, vale ressaltar que as ociosidades de extrusão, moagem ou recuperação foram tratadas separadamente, garantindo assim que um maior ou menor uso de cada um dos equipamentos não interferirá no custo unitário de outro. O resultado é a Função Objetivo mostrada a seguir:

$$F.O. = \text{MIN} \left\{ Ca\Delta_{\text{ocios}} + \sum_{j=1}^n Cb_j\Delta_{\text{inic}} + \sum_{i,j=1}^n Cc_{i,j}\Delta_{\text{arg-esp}} + \sum_{i,j=1}^n (Cd_{i,j} + Ce_{i,j})\text{Prod}\Delta_{\text{cor}} + (Cf_{i,j} + Cg)\text{Prod}\Delta_{\text{prod}} \right\}$$

onde:

- Δ_{ocios} : Valor, em horas, do tempo total ocioso.
- Ca : Coeficiente do custo por hora de atividade de ociosidade de extrusão. Este custo é obtido a partir do consumo de recursos associados à máquina parada como: Salários & Encargos e Depreciação da extrusora.
- Δ_{inic} : Valor, em horas, do adiantamento ou atraso no início da produção da ordem.
- Cb_j : Coeficiente de custo da atividade de armazenagem de adiantamentos ou atrasos do lote j . Baseia-se em custos para pedidos adiantados e desgastes no relacionamento com clientes por entregas atrasadas, levando-se em conta a relevância do cliente para a empresa. Para caracterizar a situação de pedidos atrasados serão consideradas três diferentes equações que penalizam diferentemente atrasos de pedidos para Clientes A, B ou C. Este coeficiente terá valor Cb_{j1} para $\Delta_{\text{inic}} < 0$ e valor Cb_{j2} para $\Delta_{\text{inic}} > 0$, onde Cb_{j2} assumirá três possíveis valores diferentes, dependendo do tipo de cliente.
- $\Delta_{\text{arg-esp}}$: Valor, em horas, para o maior dos tempos, entre *setup* de largura e espessura.
- $Cc_{i,j}$: Coeficiente de custo da atividade de *setup* de largura e espessura do lote j , quando este é precedido pelo lote i . Baseado em custos dos recursos utilizados na atividade de *setup* considerando a máquina parada. Nas atividades de *setup* de

dimensão considera-se o maior dos dois tempos, por serem atividades realizadas em paralelo.

- Δ_{cor} : Valor, em horas, do tempo de processamento gerando material mescla
- $Cd_{i,j}$: Coeficiente de custo da atividade de *setup* de cor do lote j , quando este é precedido pelo lote i . Baseado em custos dos recursos consumidos na atividade de *setup* de cor, considerando-se a máquina operando.
- $Ce_{i,j}$: Coeficiente de custos das atividades de reciclagem de material gerado pelo *setup* de cor do lote j , quando este é precedido pelo lote i . Baseado nos custos associados às atividades de transporte, moagem, manutenção dos moinhos e armazenagem do material a ser reciclado, quando se tratar de chapa grossa. Quando o material a ser reciclado for de chapa fina, devem ser adicionados os custos da atividade de recuperação e manutenção da recuperadora.
- Prod : Quantidade produzida no lote.
- Δ_{prod} : Valor, em horas, do tempo total produtivo.
- $Cf_{i,j}$: Coeficiente para ponderação do custo da geração de “refugo operacional”, resultante das laterais cortadas da chapa j , quando esta é precedida pela chapa i . Este custo é obtido a partir do consumo dos recursos necessários à execução das atividades de transporte, moagem, manutenção dos moinhos e armazenagem desse material, quando se tratar de chapa grossa. Quando o material a ser reciclado for de chapa fina, devem ser considerados ainda os custos da atividade de recuperação e manutenção da recuperadora.
- Cg : Coeficiente para ponderação do custo por hora de atividade do processo de extrusão. Este custo é obtido a partir do consumo dos recursos necessários à atividade de extrusão, manutenção de extrusoras, moinhos e recuperadoras e transporte de chapas.

O resultado da minimização desta Função Objetivo será uma sequência ótima de produção para um dado conjunto de lotes de fabricação, além do custo de produção desta sequência (valor da Função Objetivo).

O método usado na determinação da sequência de produção foi o *Branch and Bound*. Para tanto foi desenvolvido um programa em PROLOG, que é apresentado no Apêndice A.

Capítulo 5

Resultados do Estudo de Caso

Apresenta-se a seguir, um estudo de caso, realizado na empresa de extrusão de plástico que serviu como laboratório neste trabalho.

São apresentadas, inicialmente, as matrizes que descrevem os tempos de *Setup* quando ocorrem mudanças de largura, espessura e cor entre chapas que saem e entram de uma mesma máquina extrusora. Descreve-se a seguir algumas suposições usadas na implementação do modelo e finalmente alguns resultados simulados são apresentados.

5.1. Consideração dos Tempos de *Setup*

As tabelas a seguir referem-se aos tempos de *setup* quando ocorrem trocas de espessura largura e cor entre chapas que saem e entram de uma mesma máquina extrusora.

A primeira matriz refere-se aos tempos de *setup* para variação de espessura entre chapas (Tabela 5.1) enquanto que a segunda refere-se à variação de largura (Tabela 5.2). Nestas tabelas as abcissas representam os dados da chapa que será processada a seguir, enquanto que as ordenadas se referem aos dados da chapa que está sendo processada. Os elementos da matriz referem-se aos minutos gastos no *setup*. Note-se na diagonal das matrizes a possibilidade de tempo de *setup* igual a zero.

Isto ocorrerá quando as dimensões (espessura na Tabela 5.1 e largura na 5.2) entre a chapa que está saindo e a que está entrando forem idênticas.

Tabela 5.1 - Matriz para tempo de *setup* (em minutos) de acordo com a variação das espessuras das chapas

	2.5 à 3.0 mm	3.0 à 4.0 mm	4.0 à 5.0 mm	5.0 à 6.0 mm
2.5 à 3.0 mm	0	10	20	20
3.0 à 4.0 mm	10	0	10	20
4.0 à 5.0 mm	20	10	0	10
5.0 à 6.0 mm	20	20	10	0

Tabela 5.2 - Matriz para tempo de *setup* (em minutos) de acordo com a variação das larguras das chapas

	600 à 800mm	800 à 1000mm	1000 à 1200mm	1200 à 1400mm
600 à 800mm	0	10	10	10
800 à 1000mm	10	0	10	10
1000 à 1200mm	10	10	0	10
1200 à 1400mm	10	10	10	0

Para estudo do *setup* de cor, as cores dos pigmentos utilizados nas chapas foram subdivididas em 10 grupos, sendo que o tempo de funcionamento da máquina durante o *setup*, para limpeza do equipamento, gerando material mescla, dependerá de a qual grupo de cor pertencem as chapas que estão saindo e entrando na máquina. Quando a chapa que está entrando pertence ao mesmo grupo de cor da chapa que está saindo, considera-se tempo zero de máquina gerando material mescla, ou seja, considera-se que não existe “perda” de material. A Tabela 5.3 fornece esta informação. Nela, abscissa e ordenada contêm os grupos de cores de 1 à 10, para as chapas que

estão entrando e saindo e os elementos da matriz representam o número de minutos de máquina gerando material mescla.

Tabela 5.3 - Matriz para tempo de *setup* (em minutos) de acordo com a variação dos grupos de cor das chapas

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	0	10	10	20	20	30	30	30	30	30
2	10	0	10	10	20	20	30	30	30	30
3	10	10	0	10	10	20	20	30	30	30
4	20	10	10	0	10	10	20	20	30	30
5	20	20	10	10	0	10	10	20	20	30
6	30	20	20	10	10	0	10	10	20	20
7	30	30	20	20	10	10	0	10	10	20
8	30	30	30	20	20	10	10	0	10	10
9	30	30	30	30	20	20	10	10	0	10
10	30	30	30	30	30	20	20	10	10	0

5.2. Algumas Considerações

Para o teste do modelo, algumas suposições foram feitas a fim de se encontrar os valores das ponderações de parâmetros da Função Objetivo.

Para o cálculo das entregas atrasadas de pedidos, as empresas foram divididas em três grandes grupos, sendo atribuída empiricamente uma função quadrática para penalização:

- grupo 1, com as empresas preferenciais. Representa os 20% do total de empresas responsáveis por aproximadamente 70% do faturamento. A equação que pondera entregas de pedidos atrasadas para empresas deste grupo é: $f(x) = 3x^2$;
- grupo 2, com as empresas habituais. Representa outros 30% do total de empresas responsáveis por 25% do faturamento. Para estas empresas, a equação de penalização dos pedidos atrasados é: $f(x) = 2x^2$ e,

- grupo 3, com o resto das empresas. Representa os 50% restantes das empresas, que respondem por 5% do faturamento. Aqui, a ponderação para atrasos em pedidos obedece à equação: $f(x) = x^2$.

Foram feitas ainda algumas suposições com relação ao número de horas trabalhadas num mês e aos gastos de um mês fictício qualquer:

- a fábrica trabalha 22 dias por mês, 22 horas por dia. Ou seja trabalha 484 horas no mês;
- gastos com Energia Elétrica: R\$1.800,00/mês sendo o *driver* utilizado o de kWh;
- gastos com Encargos & Salários: R\$55.660,00/mês sendo o *driver* utilizado o de homem hora;
- depreciação de Extrusora: R\$10.000,00/mês sendo o *driver* utilizado hora de máquina;
- depreciação de Moinho: R\$10.000,00 sendo o *driver* utilizado hora de máquina;
- depreciação de Recuperadora: R\$10.000,00 sendo o *driver* utilizado hora de máquina;
- gastos com Material de consumo: R\$1.000,00 sendo o *driver* utilizado hora trabalhada;
- gastos com material de manutenção: R\$1.000,00 sendo o *driver* utilizado hora de manutenção;
- gastos com Aluguel (Espaço Físico): R\$5.000,00 sendo o *driver* utilizado m². Supôs-se que a extrusão considerada no modelo é responsável por 20% do espaço total da fábrica, sendo portanto atribuído a ela um gasto de R\$1.000,00 com aluguel;
- de todo material gerado, supôs-se que 20% será sempre reciclado. Logo o transporte deverá supor um transporte de produto acabado de 80% e de reciclado de 20%;

- gastos com combustível para transporte: R\$60,00 sendo o *driver* utilizado km rodado;
- os carrinhos rodaram no total 100km dentro da fábrica, sendo que os quatro funcionários do transporte trabalharam por 250 horas nesta atividade e,
- os tempos gastos com *setup* no mês em questão foram:

$\Sigma_{setup} cor = 10$ horas;

$\Sigma_{setup} largura = 15$ horas, e

$\Sigma_{setup} espessura = 15$ horas.

Distribuição das horas de trabalho:

	Horas Trabalhadas	Horas Ociosas	Horas Manutenção	Σ Horas <i>Setup</i>
Extrusão	290 horas	144 horas	10 horas	$10 + 15 + 15 = 40$
Moinho	280 horas	204 horas	-	
Recuperadora	250 horas	234 horas	-	

- Distribuição de trabalho por atividade:

Extrusão : 9 homens;

Moinho : 2 homens;

Recuperadora : 2 homens;

Manutenção : 2 homens;

Transporte : 4 homens e,

Controle Estoque : 4 homens.

Usando-se o Easy ABC como ferramenta para modelar as atividades da fábrica, chegou-se aos seguintes cálculos:

Ca : **Custo de ociosidade:**

Salários & Encargos = R\$ 55660,00/mês. São 23 funcionários => Salário de R\$ 2417,00/funcionário. São 9 funcionários na extrusão trabalhando 3 em cada turno
=> Salário dos funcionários da extrusão = R\$ 21470,00/mês

Depreciação Extrusora = R\$ 10000,00/mês

Número de horas num mês = 484

$(21470 + 10000) / 484 \Rightarrow$

Ca = R\$65,66/hora

Cb_j : Custo de entregas fora do prazo:

Custo do adiantamento = Custo do Espaço Físico + Custo salários e Encargos=>
supor R\$1000,00/mês

$1000/484 = R\$2,06/hora$

São 4 funcionários no estoque, sendo que 80% do tempo deles é gasto com pedidos novos e 20% com reciclados => Salário dos funcionários do estoque trabalhando com pedidos novos = $R\$ 2420 * 4 * 0,8 = R\$7744,00 = 7744/484 = R\$16,00/hora$

custo adiantamento = $R\$2,06/hora + R\$16,00/hora$

Custo do adiantamento = R\$18,06/hora

Custo do atraso depende do tipo de cliente:

Cliente tipo A: Custo atraso = $3\Delta^2$

Cliente tipo B: Custo atraso = $2\Delta^2$

Cliente tipo C: Custo atraso = $1\Delta^2$

Cc_{ij} : Custo de setup de largura e espessura

Salários & Encargos = R\$ 55660,00/mês. São 23 funcionários => Salário de R\$ 2420,00/funcionário. São 9 funcionários na extrusão => Salário dos funcionários da extrusão = R\$ 21780,00

Depreciação Extrusora = R\$ 10000,00/mês

Número de horas num mês = 484

Custo Setup Largura e Espessura = R\$ 65,66/hora

Cd_{ij} : Custo de setup de cor

Custo Energia Elétrica = R\$ 1800,00/mês

Salários & Encargos = R\$ 55600,00/mês. São 23 funcionários => Salário de R\$ 2420,00/funcionário. São 9 funcionários na extrusão => Salário dos funcionários da extrusão/ = R\$ 21780,00/mês

Depreciação Extrusora = R\$ 10000,00/mês

Material de consumo: preço /kg = R\$0,10. São gerados 500kg por hora =>
 $500kg/h * R\$0,10/kg = R\$50,00/hora$

$((1800+21780+10000)/484 + 50) = 119,38$

Custo Setup de cor = R\$ 119,38/hora

Ce_{ij} : custo de reciclagem de material gerado no setup de cor

Custo Encargos e Salários para Transporte = São 4 homens trabalhando em

transporte sendo que 20% do material transportado refere-se a reciclagem => 0,2 homens trabalhando em transporte de reciclados. Salário de 0,2 homens = $R\$2420,00 * 0,2 = R\$ 484,00/mês \Rightarrow R\$1,00/hora$

Combustível gasto $R\$60,00 \Rightarrow 20\%$ disso é $R\$12,00/mês = R\$0,02/hora$

Custo Energia Elétrica de Moinho = $R\$ 1800,00/mês = R\$3,72/hora$

Custo Encargos e Salários para Moinho = São 2 homens => $R\$2420,00 * 2 = R\$4840,00/mês \Rightarrow R\$10,00/hora$

Depreciação Moinho = $R\$ 10000,00/mês = 20,66/hora$

Material Manutenção = $R\$1000,00/mês = 2,06/hora$

Manutenção do Moinho = 2 homens trabalham na manutenção => $R\$4840,00/mês \Rightarrow 4840/484 = R\$10,00/hora$

Custo do Espaço Físico => $\text{supor } R\$1000,00/mês \Rightarrow R\$ 2,00/hora$

Reciclagem de chapa grossa = $R\$ 47,66/hora$

Para chapa fina valor = reciclagem chapa grossa + recuperação da chapa fina

Custo Energia Elétrica = $R\$ 1800,00/mês$

Salários & Encargos = $R\$ 55600,00/mês$. São 23 funcionários => Salário de $R\$ 2420,00/funcionário$. São 2 funcionários na recuperação => Salário dos funcionários da extrusão = $R\$ 4840,00/mês$

Depreciação recuperadora = $R\$ 10000,00/mês$

Custo recuperação = $R\$34,38$

Reciclagem de chapa fina = $R\$ 47,66/hora + R\$34,38 = R\$82,04/hora$

Cf_{i,j} : custo de reciclagem de refugo operacional

cálculos iguais aos da reciclagem de material gerado no *setup* de cor

Reciclagem de chapa grossa = $R\$ 47,66/hora$

Reciclagem de chapa fina = $R\$82,04/hora$

Cg : custo da atividade de extrusão

energia elétrica: $R\$1800,00/mês = R\$ 3,72/hora$

Salários & Encargos = $R\$ 55660,00/mês$. São 23 funcionários => Salário de $R\$ 2420,00/funcionário$. São 9 funcionários na extrusão => Salário dos funcionários da extrusão = $R\$ 2420,00 * 9 \Rightarrow 21780,00/484 = 45,40/hora$

Depreciação Extrusora = $R\$ 10000,00/mês = R\$20,66/hora$

Material de consumo: preço /kg = $R\$0,10$. São gerados 500kg por hora => $500kg/h * R\$0,10/kg = R\$50,00/hora$

Manutenção da Extrusão = 2 homens trabalham na manutenção => $R\$4834,00/mês \Rightarrow 4834/484 = R\$10,00/hora$

Material Manutenção = $R\$1000,00/mês = 2,06/hora$

Custo extrusão = $R\$131,84/hora$

Assim, substituindo-se os coeficientes obtidos na função objetivo, tem-se:

$$F.O. = \text{MIN} \left\{ 65,66 \Delta_{\text{ocios}} + \sum_{j=1}^n Cb_j \Delta_{\text{inic}} + \sum_{i,j=1}^n 65,66 \Delta_{\text{arg-esp}} + \sum_{i,j=1}^n (119,38 + Ce_{i,j}) \text{Prod} \Delta_{\text{cor}} + (Cf_{i,j} + 131,84) \text{Prod} \Delta_{\text{prod}} \right\}$$

onde:

$$\begin{aligned} Cb = & \quad 18,86 \text{ no caso de adiantamentos de ordens} \\ & \quad 3 \Delta^2 \text{ no caso de atrasos de ordens de clientes tipo "A"} \\ & \quad 2 \Delta^2 \text{ no caso de atrasos de ordens de clientes tipo "B"} \\ & \quad 1 \Delta^2 \text{ no caso de atrasos de ordens de clientes tipo "C"} \\ Ce = & \quad 47,66 \text{ no caso de chapa grossa} \\ & \quad 82,04 \text{ no caso de chapa fina} \\ Cf = & \quad 47,66 \text{ no caso de chapa grossa} \\ & \quad 82,04 \text{ no caso de chapa fina} \end{aligned}$$

5.3. Alguns Resultados Simulados

Apresenta-se a seguir, alguns resultados das simulações realizadas. Procura-se mostrar, com estes exemplos, qual o impacto no seqüenciamento e no valor da Função Objetivo, quando são mudados os parâmetros de entrada para o problema.

E1 e E2 possuem basicamente os mesmos dados de entrada. Sua única diferença está no tipo de cliente a ser atendido. Nota-se que a seqüência de execução dos lotes proposta nos dois resultados é a mesma, porém o valor da Função Objetivo difere nos dois casos. Isto ocorre porque em ambos os casos os lotes 2 e 3 são finalizados em atraso. O lote 2 tem sua hora de entrega prevista para 22 horas, mas será entregue somente na hora 27.71, tanto em E1 quanto em E2. Já o lote 3 tem sua hora de entrega prevista para 44 horas, porém, nos dois exemplos, o pedido só estará finalizado na hora 58.79. Como em E1, os pedidos 2 e 3 referem-se a clientes "tipo a",

este atraso implicará num custo maior para a empresa do que no exemplo E2, onde os lotes referem-se a clientes “tipo c”.

Em E3, E4 e E5 tem-se praticamente os mesmos dados de entrada para cor, largura, espessura e quantidade dos pedidos. O resultado da simulação sugere a mesma seqüência de execução dos pedidos nos exemplos E3 e E4. Nestes dois casos, os lotes 1 e 3 serão entregues com atraso, porém, no exemplo E4 temos clientes “tipo a e b” enquanto que em E3 somente clientes “tipo c”. Isto se reflete no valor da Função Objetivo. Nota-se também que em E4 um pedido de cliente “tipo a” foi atrasado, enquanto que um pedido de cliente “tipo b” cumpriu sua data de entrega. Isto ocorreu porque neste caso, o custo do atraso do pedido era menor do que o custo de se executar um novo *setup* de espessura. Nota-se que a seqüência final sugere um agrupamento dos lotes com espessuras iguais.

Em E5 provoca-se uma sobrecarga de pedidos no primeiro dia. Aqui, embora as espessuras das chapas sejam muito desfavoráveis, o critério que prevaleceu na escolha da seqüência foi o da data de entrega.

Os exemplos E6 e E7 têm praticamente os mesmos dados de entrada, porém E7 apresenta uma situação onde ocorre sobrecarga no quinto dia, sendo que existem ociosidades no segundo, terceiro e quarto dias. A seqüência de execução dos lotes sugerida neste caso propõe um adiantamento dos lotes de clientes “tipo a”, deixando um pequeno atraso para o lote 3 que pertence a um “cliente tipo c”. Nota-se portanto que a seqüência de execução sugerida difere nos dois casos, diferindo também o valor da Função Objetivo.

Nas simulações E8 e E9, buscou-se basicamente a mudança de espessura das chapas. Em E.8 são produzidas somente chapas finas, enquanto que em E9 somente chapas grossas. Embora, com excessão das espessuras das chapas, todos os outros dados de entrada sejam idênticos e a seqüência de execução dos lotes seja a mesma, nota-se que a Função Objetivo apresenta valores diferentes. Isto é resultado da consideração e custeamento de todas as atividades envolvidas na confecção de cada tipo de chapa. A chapa fina tem um custo maior para a empresa, por demandar, além das mesmas atividades pedidas pela confecção de chapas grossas, também atividades de recuperação dos refugos e de manutenção da recuperadora. A correta determinação

do custo de cada tipo de chapa foi possível graças ao uso do ABC, que possibilita a determinação e custeio de cada uma das atividades envolvidas no processo produtivo.

E.1. Simulação de 5 nós, com largura, espessura e tipo de cliente fixos e variação gradual de cor

No	Cor	Larg	Esp	Qtde	Hora de Entrega	Tempo de proc.	Início mais tarde	Cliente
no1	2	800	3	3500	22	9.00	12.99	a
no2	4	800	3	4800	22	12.35	9.64	a
no3	6	800	3	9800	44	25.22	18.77	a
no4	8	800	3	11700	110	30.11	79.88	a
no5	10	800	3	7800	110	20.07	89.92	a
						96.75		

Numero de Horas disponíveis/dia 22
 Numero de dias a serem considerados 5
 Tempo disponível total (horas) 110
 Tempo de Processamento total + Setups 109.97
 Tempo Ocioso 10.72
 Numero de Intervalos de Ociosidade 2
 Tamanho do Intervalo de Ociosidade 5.36

Condicao inicial da maquina: Cor da chapa 1
 Largura da chapa 800 mm
 Espessura da chapa 3 mm

Resultados:

No	Cor	Larg	Esp	Qtde	Hora de Entrega	Tempo de proc.	Cliente	Hora de inicio	Hora de Fim
no0								0.00	5.36
no1	2	800	3	3500	22	9.00	a	5.86	14.86
no2	4	800	3	4800	22	12.35	a	15.36	27.71
no3	6	800	3	9800	44	25.22	a	28.21	53.43
no0								53.43	58.79
no4	8	800	3	11700	110	30.11	a	59.29	89.90
no5	10	800	3	7800	110	20.07	a	89.90	109.97

Valor da Função Objetivo = 136365.58127483

Numero de iterações = 3363

Tempo Computacional 50 segundos

E.2. Simulação de 5 nós, com largura e espessura fixas e variação de cor e tipo de cliente

No	Cor	Larg	Esp	Qtde	H.Fim	Tproc	Início	Cliente
no1	2	800	3	3500	22	9.00	12.99	c
no2	4	800	3	4800	22	12.35	9.64	c
no3	6	800	3	9800	44	25.22	18.77	c
no4	8	800	3	11700	110	30.11	79.88	a
no5	10	800	3	7800	110	20.07	89.92	a
						96.75		

Numero de Horas disponíveis/dia	22
Numero de dias a serem considerados	5
Tempo disponível total (horas)	110
Tempo de Processamento total + Setups	109.97
Tempo Ocioso	10.72
Numero de Intervalos de Ociosidade	2
Tamanho do Intervalo de Ociosidade	5.36

Condicao inicial da maquina:	Cor da chapa	1
	Largura da chapa	800 mm
	Espessura da chapa	3 mm

Resultados:

No	Cor	Larg	Esp	Qtde	Hora de Entrega	Tempo de proc.	Cliente	Hora de inicio	Hora de Fim
no0								0.00	5.36
no1	2	800	3	3500	22	9.00	c	5.86	14.86
no2	4	800	3	4800	22	12.35	c	15.36	27.71
no3	6	800	3	9800	44	25.22	c	28.21	53.43
no0								53.43	58.79
no4	8	800	3	11700	110	30.11	a	59.29	89.40
no5	10	800	3	7800	110	20.07	a	89.90	109.97

Valor da Função Objetivo = 136150.76635558
Numero de iterações = 3653
Tempo Computacional 53 segundos

E.3. Simulação de 5 nós com cor, largura e tipo de cliente fixos. As variações de espessura são bem desfavoráveis

No	Cor	Larg	Esp	Qtde	H.Fim	Tproc	Início	Cliente
no1	2	1000	2.5	3900	22	9.92	12.07	c
no2	2	1000	6.0	8000	22	14.73	7.26	c
no3	2	1000	2.5	9800	44	24.94	19.05	c
no4	2	1000	6.0	16000	110	29.47	80.52	a
no5	2	1000	2.5	7800	110	19.85	90.14	c
98.91								

Numero de Horas disponíveis/dia	22
Numero de dias a serem considerados	5
Tempo disponível total (horas)	110
Tempo de Processamento total + Setups	109.97
Tempo Ocioso	8.56
Numero de Intervalos de Ociosidade	2
Tamanho do Intervalo de Ociosidade	4.28

Condicao inicial da maquina:	Cor da chapa	2
	Largura da chapa	1000 mm
	Espessura da chapa	6 mm

Resultados:

No	Cor	Larg	Esp	Qtde	Hora de Entrega	Tempo de proc.	Cliente	Hora de inicio	Hora de Fim
no0								0.00	4.28
no2	2	1000	6	8000	22	14.73	c	4.78	19.51
no1	2	1000	2.5	3900	22	9.92	c	20.01	29.93
no3	2	1000	2.5	9800	44	24.94	c	30.43	55.37
no0								55.37	59.65
no4	2	1000	6	16000	110	29.47	a	60.15	89.62
no5	2	1000	2.5	7800	110	19.85	c	90.12	109.97

Valor da Função Objetivo = 149419.45898758

Numero de iterações = 3653

Tempo Computacional 52 segundos

E.4. Simulação de 5 nós com cor e largura fixas. As variações de espessura são bem desfavoráveis e o tipo de cliente varia

No	Cor	Larg	Esp	Qtde	H.Fim	Tproc	Início	Cliente
no1	2	1000	2.5	3900	22	9.92	12.07	a
no2	2	1000	6.0	8000	22	14.73	7.26	b
no3	2	1000	2.5	9800	44	24.94	19.05	b
no4	2	1000	6.0	16000	110	29.47	80.52	a
no5	2	1000	2.5	7800	110	19.85	90.14	c
						98.91		

Numero de Horas disponíveis/dia	22
Numero de dias a serem considerados	5
Tempo disponível total (horas)	110
Tempo de Processamento total + Setups	109.97
Tempo Ocioso	8.56
Numero de Intervalos de Ociosidade	2
Tamanho do Intervalo de Ociosidade	4.28

Condicao inicial da maquina:	Cor da chapa	2
	Largura da chapa	1000 mm
	Espessura da chapa	6 mm

Resultados:

No	Cor	Larg	Esp	Qtde	Hora de Entrega	Tempo de proc.	Cliente	Hora de inicio	Hora de Fim
no0								0.00	4.28
no2	2	1000	6	8000	22	14.73	b	4.78	19.51
no1	2	1000	2.5	3900	22	9.92	a	20.01	29.93
no3	2	1000	2.5	9800	44	24.94	b	30.43	55.37
no0								55.37	59.65
no4	2	1000	6	16000	110	29.47	a	60.15	89.62
no5	2	1000	2.5	7800	110	19.85	c	90.12	109.97

Valor da Função Objetivo = 149648.9278534
Numero de iterações = 3621
Tempo Computacional 52 segundos

E.5. Simulação de 5 nós com cor e largura fixas. As variações de espessura são bem desfavoráveis, o tipo de cliente varia e existe sobrecarga no primeiro dia

No	Cor	Larg	Esp	Qtde	H.Fim	Tproc	Início	Cliente
no1	2	1000	2.5	3900	22	9.92	12.07	c
no2	2	1000	6.0	8000	22	14.73	7.26	b
no3	2	1000	2.5	7800	22	19.85	2.14	a
no4	2	1000	6.0	16000	110	29.47	80.52	a
no5	2	1000	2.5	7800	110	19.85	90.14	c
							93.82	

Numero de Horas disponíveis/dia 22
 Numero de dias a serem considerados 5
 Tempo disponível total (horas) 110
 Tempo de Processamento total + Setups 109.96
 Tempo Ocioso 13.64
 Numero de Intervalos de Ociosidade 2
 Tamanho do Intervalo de Ociosidade 6.82

Condição inicial da máquina: Cor da chapa 2
 Largura da chapa 1000 mm
 Espessura da chapa 6 mm

Resultados:

No	Cor	Larg	Esp	Qtde	Hora de Entrega	Tempo de proc.	Cliente	Hora de início	Hora de Fim
no3	2	1000	2.5	7800	22	19.85	a	0.50	20.35
no2	2	1000	6	8000	22	14.73	b	20.85	35.58
no1	2	1000	2.5	3900	22	9.92	c	36.08	46.00
no0								46.00	52.82
no0								52.82	59.64
no4	2	1000	6	16000	110	29.47	a	60.14	89.61
no5	2	1000	2.5	7800	110	19.85	c	90.11	109.96

Valor da Função Objetivo = 153654.90751249

Numero de iterações = 3483

Tempo Computacional 53 segundos

E.6. Exemplo com tipo de cliente fixo e variações de largura

No	Cor	Larg	Esp	Qtde	H.Fim	Tproc	Início	Cliente
no1	2	600	3	3500	22	9.64	12.35	a
no2	2	800	3	5800	22	14.92	7.07	a
no3	2	1000	3	10300	44	24.86	19.13	a
no4	2	1200	3	13200	110	30.00	79.99	a
no5	2	1400	3	13300	110	28.55	81.44	a
107.97								

Numero de Horas disponíveis/dia	22
Numero de dias a serem considerados	5
Tempo disponível total (horas)	110
Tempo de Processamento total + Setups	110.95
Tempo Ocioso	0.48
Numero de Intervalos de Ociosidade	2
Tamanho do Intervalo de Ociosidade	0.24

Condicao inicial da maquina:	Cor da chapa	2
	Largura da chapa	1400 mm
	Espessura da chapa	3 mm

Resultados:

No	Cor	Larg	Esp	Qtde	Hora de Entrega	Tempo de proc.	Cliente	Hora de inicio	Hora de Fim
no2	2	800	3	5800	22	14.92	a	0.50	15.42
no0								15.42	15.66
no0								15.66	15.90
no1	2	600	3	3500	22	9.64	a	16.40	26.04
no3	2	1000	3	10300	44	24.86	a	26.54	51.40
no4	2	1200	3	13200	110	30.00	a	51.90	81.90
no5	2	1400	3	13300	110	28.55	a	82.40	110.95

Valor da Função Objetivo =165180.78559277

Numero de iterações = 3442

Tempo Computacional 50 segundos

E.7. Exemplo com sobrecarga no quinto dia e ociosidade no segundo, terceiro e quarto dias

No	Cor	Larg	Esp	Qtde	H.Fim	Tproc	Início	Cliente
no1	2	600	3	3500	22	9.64	12.35	a
no2	2	800	3	5800	22	14.92	7.07	c
no3	2	1000	3	10300	110	24.86	85.13	c
no4	2	1200	3	13200	110	30.00	79.99	a
no5	2	1400	3	13300	110	28.55	81.44	a
107.97								

Numero de Horas disponíveis/dia	22
Numero de dias a serem considerados	5
Tempo disponível total (horas)	110
Tempo de Processamento total + Setups	110.95
Tempo Ocioso	0.48
Numero de Intervalos de Ociosidade	2
Tamanho do Intervalo de Ociosidade	0.24

Condicao inicial da maquina:	Cor da chapa	2
	Largura da chapa	1400 mm
	Espessura da chapa	3 mm

Resultados:

No	Cor	Larg	Esp	Qtde	Hora de Entrega	Tempo de proc.	Cliente	Hora de inicio	Hora de Fim
no2	2	800	3	5800	22	14.92	c	0.50	15.42
no1	2	600	3	3500	22	9.64	a	15.92	25.56
no4	2	1200	3	13200	110	30.00	a	26.06	56.06
no5	2	1400	3	13300	110	28.55	a	56.56	85.11
no0								85.11	85.35
no0								85.35	85.59
no3	2	1000	3	10300	110	24.86	c	86.09	110.95

Valor da Função Objetivo = 166030.73470756

Numero de iterações = 3652

Tempo Computacional 50 segundos

E.8. Exemplo com fabricação somente de chapas finas

No	Cor	Larg	Esp	Qtde	H.Fim	Tproc	Início	Cliente
no1	2	1000	2.5	1900	22	4.83	17.16	c
no2	2	1000	2.5	2000	22	5.09	16.90	c
no3	2	1000	2.5	1800	44	4.58	39.41	c
no4	2	1000	2.5	6000	110	15.27	94.72	c
no5	2	1000	2.5	7800	110	19.85	90.14	c
							49.62	

Numero de Horas disponíveis/dia	22
Numero de dias a serem considerados	5
Tempo disponível total (horas)	110
Tempo de Processamento total + Setups	109.98
Tempo Ocioso	57.86
Numero de Intervalos de Ociosidade	2
Tamanho do Intervalo de Ociosidade	28.93

Condicao inicial da maquina:	Cor da chapa	2	
	Largura da chapa	1000	mm
	Espessura da chapa	2.5	mm

Resultados:

No	Cor	Larg	Esp	Qtde	Hora de Entrega	Tempo de proc.	Cliente	Hora de inicio	Hora de Fim
no0								0.00	28.93
no1	2	1000	2.5	1900	22	4.83	c	29.43	34.26
no2	2	1000	2.5	2000	22	5.09	c	34.76	39.85
no3	2	1000	2.5	1800	44	4.58	c	40.35	44.93
no0								44.93	73.86
no5	2	1000	2.2	7800	110	19.85	c	74.36	94.21
no4	2	1000	2.5	6000	110	15.27	c	94.71	109.98

Valor da Função Objetivo = 72167.01868789

Numero de iterações= 3226

Tempo Computacional 50 segundos

E.9. Mesmo exemplo anterior, com fabricação somente de chapas grossas

No	Cor	Larg	Esp	Qtde	H.Fim	Tproc	Início	Cliente
no1	2	1000	6	1900	22	3.50	18.49	c
no2	2	1000	6	2000	22	3.68	18.31	c
no3	2	1000	6	1800	44	3.51	40.68	c
no4	2	1000	6	6000	110	11.05	98.94	c
no5	2	1000	6	7800	110	14.36	95.63	c
							36.10	

Numero de Horas disponíveis/dia	22
Numero de dias a serem considerados	5
Tempo disponível total (horas)	110
Tempo de Processamento total + Setups	110.16
Tempo Ocioso	71.56
Numero de Intervalos de Ociosidade	2
Tamanho do Intervalo de Ociosidade	35.78

Condicao inicial da maquina:	Cor da chapa	2
	Largura da chapa	1000 mm
	Espessura da chapa	6 mm

Resultados:

No	Cor	Larg	Esp	Qtde	Hora de Entrega	Tempo de proc.	Cliente	Hora de início	Hora de Fim
no0								0.00	35.78
no1	2	1000	2.5	1900	22	3.50	c	36.28	39.78
no2	2	1000	2.5	2000	22	3.68	c	40.28	43.96
no3	2	1000	2.5	1800	44	3.51	c	44.46	47.97
no0								47.97	83.75
no5	2	1000	2.2	7800	110	11.05	c	84.25	95.30
no4	2	1000	2.5	6000	110	14.36	c	95.80	110.16

Valor da Função Objetivo = 61695.04416458

Numero de iterações = 3124

Tempo Computacional 47 segundos

Capítulo 6

Conclusão

Neste trabalho, foi feita uma breve revisão dos Sistemas de Administração da Produção, ressaltando sua importância na Administração de Empresas. Dentro dos Sistemas de Administração da Produção, foi estudada mais detalhadamente a Programação da Produção. A Programação Matemática foi considerada como ferramenta para preencher uma lacuna de informação entre o sistema que administra a produção e a tomada de decisão no chão de fábrica.

Dentre as várias técnicas de Programação Matemática existentes, destacou-se o *Branch and Bound*, por ser largamente estudado e aceito como técnica de seqüenciamento.

Foi proposta, então, a utilização do custeio ABC como uma ferramenta de auxílio na determinação dos parâmetros de uma Função Objetivo, para um método *Branch and Bound*. A validação do método foi verificada através de um estudo de caso numa empresa de extrusão de plástico, usada como laboratório.

Como contribuição deste trabalho, ressalta-se a inclusão de duas importantes inovações em uma ferramenta que auxilia a tomada de decisão pelo planejador. São elas:

- a consideração das ociosidades de máquina ao longo do período de seqüenciamento, implicando em que o resultado do *Branch and Bound* apresente além da seqüência ótima, dentro do universo por ele considerado, também a data em que cada pedido deve ser inicializado, de modo a minimizar os atrasos e adiantamentos; e,

- uso de técnicas de custeio ABC para a determinação dos parâmetros da função objetivo usada no *Branch and Bound*. A utilização desta abordagem mostrou-se atraente devido à possibilidade de se obter, ao final do seqüenciamento, além de uma seqüência ótima, dentro de um horizonte de planejamento, também os custos de se produzir esta seqüência, aí inclusos custos tanto de atividades diretas quanto indiretas. Outro ponto a ser considerado é a fácil alteração dos coeficientes de custos da F.O., que naturalmente são dinâmicos no tempo. Estes coeficientes estão sujeitos à mudanças de política interna da empresa, mudanças de tecnologia, alteração de preços nos insumos, etc. Isto acarretaria na obsolescência da função objetivo, devido à perda de validade de seus coeficientes de custo. Contudo, com a utilização de uma modelagem ABC, a atualização destes coeficientes é imediata, implicando numa nova F.O. a cada atualização do modelo de custos.

Como extensão deste trabalho, vislumbra-se a possibilidade de se explorar técnicas heurísticas que venham a melhorar o desempenho do algoritmo de seqüenciamento, assim como a implementação do mesmo numa linguagem diferente da utilizada neste trabalho.

A validação dos resultados numa empresa com perfil diferente do de uma fábrica de extrusão de plástico seria também um resultado interessante.

Outro trabalho interessante seria a caracterização de empresas segundo a ótica de sua Função Objetivo, ou seja, uma classificação de grupos de empresas com Funções Objetivo semelhantes.

Apêndice A

Algoritmo Branch and Bound

O Algoritmo Branch and Bound desenvolvido para solucionar o problema do seqüenciamento de lotes da produção foi programado na linguagem PROLOG e é apresentado a seguir:

% Faz Branch and Bound

% Parametros de entrada :

% a base de dados tem o seguinte formato :

% recordz(dado_inic,t(No,Cor,Larg,Esp,Qtde,Hora_sai,Tipo_cli),_), onde :

% No = identificacao de cada pedido. Ex: no0,no1,no2,no3,etc.

% Cor = Cor da chapa.

% Larg = Largura da chapa.

% Esp = Espessura da chapa.

% Qtde = Quantidade do pedido.

% Hora_sai = Hora de entrega do pedido.

% Tipo_cli = Tipo do Cliente (A,B ou C).

% os nos iniciais serao guardados num recordz com o seguinte formato :

% recordz(lista_inic,t(No,Cor,Larg,Esp,Qtde,Hora_sai,T_proc,

% Hora_inic,Tipo_cli),_),

% onde:

% No = identificacao de cada pedido. Ex: no0,no1,no2,no3,etc.

% sendo no0 utilizado para os intervalos de ociosidade sequenciados.

```

% Cor    = Cor da chapa.
% Larg    = Largura da chapa.
% Esp    = Espessura da chapa.
% Qtde    = Quantidade do pedido.
% Hora_sai = Hora de entrega do pedido.
% T_proc  = tempo de processamento do pedido. Valor calculado.
% Hora_inic = Hora otima de inicializacao do pedido - para que este seja
%           entregue sem atrasos nem adiantamentos. Valor calculado.

% os parametros de entrada serao armazenados num recordz como segue :
%   recordz( param,t( N_oc,Hora_disp_dia,N_dias,Cor_mq,Larg_mq,Esp_mq ),_ )
% N_oc    = nro de intervalos em que sera dividida a ociosidade total.
% Hora_disp_dia = nro de horas disponiveis por dia.
% N_dias   = nro de dias a serem considerados.
% Cor_mq   = cor da chapa que se encontra na maquina quando comeca o
%           sequenciamento.
% Larg_mq  = largura da chapa que se encontra na maquina quando comeca o
%           sequenciamento.
% Esp_mq   = espessura da chapa que se encontra na maquina quando comeca
%           o sequenciamento.

% os nos sequenciados serao armazenados num recordb com o seguinte formato :
%   recordb( no,t( Fo,Rel,N_oc,Cor,Larg,Esp ),t( Lista ))
% Fo = valor calculado da funcao objetivo.
% Rel = relógio do sistema - vai de zero ate o tempo disponivel total, sendo
%       tempo disponivel total = Hora_disp_dia * N_dias.
% N_oc = numero de intervalos de ociosidade ja considerados na sequencia.
% Cor = Cor da ultima chapa na sequencia.
% Larg = Largura da ultima chapa na sequencia.
% Esp = Espessura da ultima chapa na sequencia.
%_____
%_
:- module bb3.
:- public main/0.

```

main :-

comeca.

comeca :-

```
write( 'Entre com o horizonte de planejamento --> '),
read_line( 1,X ),
string_term( X,T_tot_disp ),
time(time(H1,M1,S1,_)),
faz_bb( Fo,T_tot_disp,Oc,T_tot_disp ),
guarda_result( Fo,H1,M1,S1,T_tot_disp,Oc ).
```

faz_bb(Fo,T_tot_disp,Oc) :-

```
eraseall( tempo ),
ctr_set(5,0),
ctr_set(4,0),
eraseall( soma ),
removeallb( no ),
calcula_tempo_tot( T_tot_disp,N_ocios,Oc,Cor_mq,Larg_mq,Esp_mq,),
( N_ocios = 0 ;
  N is N_ocios - 1,
  recordb( no,t( 0,Oc,N,Cor_mq,Larg_mq,Esp_mq ),t([ no0 ])) ),
calcula_fo_inicial( 0,0,N_ocios,Cor_mq,Larg_mq,Esp_mq ),
explode_nos( T_tot_disp,Oc,Fo ).
```

calcula_tempo_tot(T_tot_disp,_,_,_,_) :-

```
recorded( dado_inic,t( No,Cor,Larg,Esp,Qtde,Hora_sai,Tipo_cli ),_),
[! Aux is 0.0428571 * Larg * Esp + 285.71428,
  T_proc is Qtde / Aux,
  Hora_inic is Hora_sai - T_proc,
  ( farol( Hora_inic ),
    ctr_inc(4,_),
    recordz(lista_inic,t( No,Cor,Larg,Esp,Qtde,Hora_sai,
                        T_proc,Hora_inic,Tipo_cli ),_),
    soma( T_proc );
```



```

recordz(lista_fora,t( No,Cor,Larg,Esp,Qtde,Hora_sai,
                    T_proc,Hora_inic,Tipo_cli ),_)!],
fail.

```

```

calcula_tempo_tot( T_tot_disp,N_oc,Oc,Cor_mq,Larg_mq,Esp_mq ) :-
    recorded( param,t( N_oc,Horas_disp_dia,N_dias,Cor_mq,Larg_mq,
                      Esp_mq ),_),
    recorded( soma,T_tot_proc,_),
    ctr_is( 4,N_lotes),
    Tempo_setup is N_lotes * 0.5,
    T_ocios is T_tot_disp - T_tot_proc - Tempo_setup,
    ( N_oc > 0,
      Oc is T_ocios/N_oc ;
      Oc is 0 ).

```

```

soma( Tproc ) :-
    recorded( soma,Old,Ref ),
    New is Old + Tproc,
    erase( Ref ),
    recordz( soma,New,_),!.

```

```

soma( Tproc ) :-
    recordz( soma,Tproc,_).

```

```

calcula_fo_inicial( Relogio,Soma,N_ocios,Cor_out,Larg_out,Esp_out ) :-
    recorded( lista_inic,t( No,Cor_in,Larg_in,Esp_in,_,T_proc,
                          Hora_inic,Tipo_cli ),_),
    [! faz_contas_fo( Hora_inic,Relogio,Soma,T_proc,[ No ],N_ocios,
                     Esp_in,Esp_out,Larg_in,Larg_out,Cor_in,Cor_out,Tipo_cli ) !],
    fail.

```

```

calcula_fo_inicial( _,_,_,_,_ ).

```

```

faz_contas_fo( Hora_inic,Relogio,Soma,T_proc,Lista,N_ocios,Esp_in,Esp_out,
               Larg_in,Larg_out,Cor_in,Cor_out,_ ) :-
    Hora_inic >= Relogio,

```

```

delta_esp_larg( Esp_in,Esp_out,Larg_in,Larg_out,Delta,Prod,G_f ),
delta_cor( Cor_in,Cor_out,Delta_cor ),
Inic is Hora_inic - Relogio,
Fo is 18.86*Inic + 65.66*Delta + ( 119.38+G_f )*Delta_cor*Prod +
      ( G_f+131.84 )*Prod*T_proc + Soma,
Rel is Relogio + T_proc + 0.5,
recordb( no,t( Fo,Rel,N_ocios,Cor_in,Larg_in,Esp_in ),t( Lista )),!.
faz_contas_fo( Hora_inic,Relogio,Soma,T_proc,Lista,N_ocios,Esp_in,Esp_out,
      Larg_in,Larg_out,Cor_in,Cor_out,a ) :-
delta_esp_larg( Esp_in,Esp_out,Larg_in,Larg_out,Delta,Prod,G_f ),
delta_cor( Cor_in,Cor_out,Delta_cor ),
Inic is Relogio - Hora_inic,
Fo is 3*(Inic*Inic) + 65.66*Delta + ( 119.38+G_f )*Delta_cor*Prod +
      ( G_f+131.84 )*Prod*T_proc + Soma,
Rel is Relogio + T_proc + 0.5,
recordb( no,t( Fo,Rel,N_ocios,Cor_in,Larg_in,Esp_in ),t( Lista )),!.
faz_contas_fo( Hora_inic,Relogio,Soma,T_proc,Lista,N_ocios,Esp_in,Esp_out,
      Larg_in,Larg_out,Cor_in,Cor_out,b ) :-
delta_esp_larg( Esp_in,Esp_out,Larg_in,Larg_out,Delta,Prod,G_f ),
delta_cor( Cor_in,Cor_out,Delta_cor ),
Inic is Relogio - Hora_inic,
Fo is 2*(Inic*Inic) + 65.66*Delta + ( 119.38+G_f )*Delta_cor*Prod +
      ( G_f+131.84 )*Prod*T_proc + Soma,
Rel is Relogio + T_proc + 0.5,
recordb( no,t( Fo,Rel,N_ocios,Cor_in,Larg_in,Esp_in ),t( Lista )),!.
faz_contas_fo( Hora_inic,Relogio,Soma,T_proc,Lista,N_ocios,Esp_in,Esp_out,
      Larg_in,Larg_out,Cor_in,Cor_out,c ) :-
delta_esp_larg( Esp_in,Esp_out,Larg_in,Larg_out,Delta,Prod,G_f ),
delta_cor( Cor_in,Cor_out,Delta_cor ),
Inic is Relogio - Hora_inic,
Fo is (Inic*Inic) + 65.66*Delta + ( 119.38+G_f )*Delta_cor*Prod +
      ( G_f+131.84 )*Prod*T_proc + Soma,
Rel is Relogio + T_proc + 0.5,
recordb( no,t( Fo,Rel,N_ocios,Cor_in,Larg_in,Esp_in ),t( Lista )).

```

```
explode_nos( T_tot_disp,Oc,Fo ) :-
```

```
    repeat,
```

```
    [! retrieveb( no,t( Fo,Relogio,N_ocios,Cor,Larg,Esp ),t( Lista )) !],
```

```
    ( Relogio >= T_tot_disp          ;
```

```
        [! compara( Fo,Relogio,Lista,N_ocios,Cor,Larg,Esp ),
```

```
        explode_ocios( Lista,N_ocios,Fo,Relogio,Oc,Cor,Larg,Esp ),
```

```
        removeb( no,t( Fo,Relogio,N_ocios ),t( Lista )) !],
```

```
        ctr_inc( 5,20000 ) ).
```

```
%      ctr_inc( 5,30000 ) ).
```

```
%      ctr_inc( 5,40000 ) ).
```

```
compara( Soma,Relogio,Lista,N_oc,Cor_out,Larg_out,Esp_out ) :-
```

```
    recorded( lista_inic,t( No,Cor_in,Larg_in,Esp_in,_,T_proc,
```

```
        Hora_inic,Tipo_cli ),_ ),
```

```
    [! Farol is Hora_inic - Relogio,
```

```
    farol( Farol ),
```

```
    ( member( No,Lista ) ;
```

```
    append( Lista,[No],N_lista ),
```

```
    faz_contas_fo( Hora_inic,Relogio,Soma,T_proc,N_lista,N_oc,
```

```
    Esp_in,Esp_out,Larg_in,Larg_out,Cor_in,Cor_out,_Tipo_cli)) !],
```

```
    fail.
```

```
compara( _,_,_,_,_ ).
```

```
farol( Farol,44 ) :-
```

```
    Farol =< 44,!.
```

```
farol( Farol,6 ) :-
```

```
    Farol =< 66,!.
```

```
farol( Farol,88 ) :-
```

```
    Farol =< 88,!.
```

```
farol( Farol,110 ) :-
```

```
    Farol =< 110,!.
```

```
farol( Farol,132 ) :-
```

```
    Farol =< 132,!.
```

```
farol( Farol,154 ) :-
```

```
    Farol =< 154,!.

```

```
explode_ocios( _,_,_,_,_,_ ) :- !.

```

```
explode_ocios( Lista,N_ocios,Fo,Relogio,Oc,Cor,Larg,Esp ) :-

```

```
    append( Lista,[no0],N_lista ),

```

```
    Rel is Relogio + Oc,

```

```
    N is N_ocios - 1,

```

```
    N_Fo is Fo + 65.66*Oc,

```

```
    recordb( no,t( N_Fo,Rel,N,Cor,Larg,Esp ),t( N_lista )).

```

```
member( Elem,[Elem|_] ) :- !.

```

```
member( Elem,[_|Cauda] ) :-

```

```
    member( Elem,Cauda ).

```

```
append( [],L,L ) :- !.

```

```
append( [ X|L1 ],L2,[ X|L3 ] ) :-

```

```
    append( L1,L2,L3 ).

```

```
% Calcula os custos de setup com mudancas de larg e esp de chapa

```

```
delta_esp_larg( Esp_in,Esp_out,Larg_in,Larg_out,Delta,Prod,Grossa_fina ) :-

```

```
    Area is Esp_in * Larg_in,

```

```
    ( Esp_in =< 3,

```

```
        Grossa_fina is 82.04 ;

```

```
        Grossa_fina is 47.66 ),

```

```
    Prod is ( 0.0428571 * Area + 285.71428 )/60,

```

```
    matriz_esp( Esp_in,Esp_out,Tempo_esp ),

```

```
    matriz_larg( Larg_in,Larg_out,Tempo_larg ),

```

```
    ( Tempo_esp > Tempo_larg,

```

```
        Delta is Tempo_esp ;

```

```
        Delta is Tempo_larg ).

```

```
% Calcula o tempo perdido em setup com mudanca de cor entre chapas.

```

```
delta_cor( Cor,Cor,0 ) :- !.

```

```

delta_cor( Cor_in,Cor_out,0.17 ) :-
    2 >= abs( Cor_in - Cor_out ),!.
delta_cor( Cor_in,Cor_out,0.33 ) :-
    4 >= abs( Cor_in - Cor_out ),!.
delta_cor( __,0.5 ).

% matriz para mudanca de largura de chapa
matriz_larg( Larg,Larg,0 ) :-!.
matriz_larg( __,0.17 ).

% matriz para mudanca de espessura de chapa
matriz_esp( Esp,Esp,0 ) :- !.
matriz_esp( Esp_in,Esp_out,0.17 ) :-
    2.5 =< Esp_in,
    3 > Esp_in,
    2.5 =< Esp_out,
    3 > Esp_out,!.
matriz_esp( Esp_in,Esp_out,0.17 ) :-
    2.5 =< Esp_in,
    3 > Esp_in,
    3 =< Esp_out,
    4 > Esp_out,!.
matriz_esp( Esp_in,Esp_out,0.33 ) :-
    2.5 =< Esp_in,
    3 > Esp_in,
    4 =< Esp_out,
    5 > Esp_out,!.
matriz_esp( Esp_in,Esp_out,0.33 ) :-
    2.5 =< Esp_in,
    3 > Esp_in,
    5 =< Esp_out,
    6 >= Esp_out,!.
matriz_esp( Esp_in,Esp_out,0.17 ) :-
    3 =< Esp_in,

```

```

4 > Esp_in,
2.5 =< Esp_out,
3 > Esp_out,!
matriz_esp( Esp_in,Esp_out,0.17 ) :-
3 =< Esp_in,
4 > Esp_in,
3 =< Esp_out,
4 > Esp_out,!
matriz_esp( Esp_in,Esp_out,0.17 ) :-
3 =< Esp_in,
4 > Esp_in,
4 =< Esp_out,
5 > Esp_out,!
matriz_esp( Esp_in,Esp_out,0.33 ) :-
3 =< Esp_in,
4 > Esp_in,
5 =< Esp_out,
6 >= Esp_out,!
matriz_esp( Esp_in,Esp_out,0.33 ) :-
4 =< Esp_in,
5 > Esp_in,
2.5 =< Esp_out,
3 > Esp_out,!
matriz_esp( Esp_in,Esp_out,0.17 ) :-
4 =< Esp_in,
5 > Esp_in,
3 =< Esp_out,
4 > Esp_out,!
matriz_esp( Esp_in,Esp_out,0.17 ) :-
4 =< Esp_in,
5 > Esp_in,
4 =< Esp_out,
5 > Esp_out,!
matriz_esp( Esp_in,Esp_out,0.17 ) :-

```

```

4 =< Esp_in,
5 > Esp_in,
5 =< Esp_out,
6 >= Esp_out,!.
matriz_esp( Esp_in,Esp_out,0.33 ) :-
5 =< Esp_in,
6 >= Esp_in,
2.5 =< Esp_out,
3 > Esp_out,!.
matriz_esp( Esp_in,Esp_out,0.33 ) :-
5 =< Esp_in,
6 >= Esp_in,
3 =< Esp_out,
4 > Esp_out,!.
matriz_esp( Esp_in,Esp_out,0.17 ) :-
5 =< Esp_in,
6 >= Esp_in,
4 =< Esp_out,
5 >= Esp_out,!.
matriz_esp( Esp_in,Esp_out,0.33 ) :-
5 =< Esp_in,
6 >= Esp_in,
5 =< Esp_out,
6 >= Esp_out,!.

```

```

_%
_%

```

```

% guarda os resultados

```

```

guarda_result( Fo,H1,M1,S1,T_tot_disp,Oc ) :-
btree_count( no,Count ),
ctr_is( 5,X ),
time(time(H2,M2,S2,_)),
recordz( tempo,t(i(H1,M1,S1),f(H2,M2,S2)),_ ),
create( H,'result.dat'),

```

```

        write( H,No    Cor    Larg    Esp    Qtde    H.Fim    Tproc    Inicio'
),nl( H ),
        write(
H,'_____'),nl(
H ),
        escreve_lista_inic( H ),
        write( H,'Tempo disponivel total = '),          write( H,T_tot_disp ),
        nl( H ),
        write( H,'Tamanho do Intervalo de Ociosidade = '),write( H,Oc ),
        nl( H ),nl( H ),
        ctr_set( 6,1 ),
        retrieveb( no,t( Fo,_____ ),t( Lista )),
        write( H,'Lista otima = '),          write( H,Lista ),
        nl( H ),
        write( H,'Valor da Funcao Objetivo = '),    write( H,Fo ),
        nl( H ),
        write( H,'Numero de iteracoes = '),          write( H,X ),
        nl( H ),
        write( H,'Numero de recordbs armazenados = '),    write( H,Count ),
        nl( H ),
        nl( H ),
%    dez_melhores( H ),
%    nl( H ),
%    nl( H ),
        write( H,'Hora de inicio = '),
        write( H,H1 ),write( H,':' ),
        write( H,M1 ),write( H,':' ),
        write( H,S1 ),
        nl( H ),
        write( H,'Hora de fim   = '),
        write( H,H2 ),write( H,':' ),
        write( H,M2 ),write( H,':' ),
        write( H,S2 ),
        nl( H ),
        close( H ).

```


escreve_lista_inic(H) :-

recorded(lista_inic,t(No,Cor,Larg,Esp,Qtde,Hora_sai,T_proc,Hora_inic,_,_),_),

```
[! write( H,No ),write( H,' '),
  write( H,Cor ),write( H,' '),
  write( H,Larg ),write( H,' '),
  write( H,Esp ),write( H,' '),
  write( H,Qtde ),write( H,' '),
  write( H,Hora_sai ),write( H,' '),
  write( H,T_proc ),write( H,' '),
  write( H,Hora_inic ),
  nl( H ) !],
```

fail.

escreve_lista_inic(H) :-

```
nl( H ),
recorded( param,t( N_oc,Hora_disp_dia,N_dias,Cor,Larg,Esp ),_ ),
write( H,'Numero de Intervalos de Ociosidade = '),
write( H,N_oc ),
nl( H ),
write( H,'Numero de Horas disponiveis/dia = '),
write( H,Hora_disp_dia ),
nl( H ),
write( H,'Numero de dias a serem considerados = '),
write( H,N_dias ),
nl( H ),
write( H,'Cor da chapa na maquina = '),
write( H,Cor ),
nl( H ),
write( H,'Largura da chapa na maquina = '),
write( H,Larg ),
nl( H ),
write( H,'Espessura da chapa na maquina = '),
write( H,Esp ),
nl( H ),
```

nl(H).

dez_melhores(H) :-

```

    retrieveb( no,t( Fo,_,_,_,_ ),t( Lista )),
    write( H,'FO = '),          write( H,Fo ),
    write( H,'      '),          write( H,Lista ),
    nl( H ),
    ctr_inc( 6,11 ),!.

```

%_____F I M_____%

•

Referências Bibliográficas

Bibliografia Citada

- [1] BACIC, M. J., VASCONCELOS, L. A. T. *Introdução aos Sistemas de Custeio*. Apostila de Aula, Instituto de Economia, Unicamp, 1990. 30 p.
- [2] BACKER, M.; JACOBSEN, L.E. *Contabilidade de Custos. Um Enfoque de Administração de Empresas* Vol.1 1.ed. São Paulo, Editora McGraw-Hill, 1972. 410 p
- [3] BAKER, K.R.. *Introduction to Sequencing and Scheduling*. John Wiley & Sons. 1974
- [4] BAKER, K.R.; SCUDDER, G.D.. *Sequencing with Earliness and Tardiness Penalties: a Review*. Operations Research vol 38 #1, Jan/Fev 1990, paginas 22 - 36
- [5] BARKER, J. R.. *MRPII, Real Time Scheduling and SBM*. MCB University Press. Assembly Automation, volume 14, número 2, 1994, páginas 22 - 28.
- [6] BITTAR JR, M. *Análise do Impacto nos Custos Devido a Variações no Mix de Produção e o Cálculo do Custo de Extratos de Clientes Utilizando o Sistema de Custeio Baseado em Atividades*. Campinas, Dissertação de Mestrado, Faculdade de Engenharia Mecânica da UNICAMP, 1996.

- [7] BRIMSON, J.. *Activity-Based Costing Approach*. New York: John Wiley & Sons Inc., 1991.
- [8] CHEN, C.-L.; BULFIN, R.L.. *Scheduling a Single Machine to Minimize Two Criteria: Maximum Tardiness and Number of Tardy Jobs*. IEE Transactions volume 26 # 5 Set 1994, páginas 76 - 84
- [9] CHING, H. Y.. *Gestão Baseada em Custeio por Atividades = ABM - Activity Based Management*. São Paulo: Editora Atlas, 1995.
- [10] COOPER, R.; KAPLAN, R.S.. *Measure Costs Right: Make the Right Decisions*. Harvard Business Review -September/October 1988 p 96-103
- [11] CORRÊA, H. L, GIANESI, I. G. N.. *Just in Time, MRPII e OPT - Um Enfoque Estratégico*. São Paulo, Editora Atlas, 1993.
- [12] FEDERGRUEN, A.; MOSHEIOV, G.. *Gedy Heuristics for Single Machine Scheduling Problems with General Earliness and Tardiness Costs*. Operations Research Letters 1994, páginas 199 - 208
- [13] GRAVES, S.. *A Review of Production Scheduling*. Operations Research. vol 29 # 4 Julho/Agosto 1981 páginas 646 - 675
- [14] HADDAD, R.B.B.; LIMA, P.C.. *O Uso do ABC como uma Ferramenta de Apoio à Modelagem do Problema de Seqüenciamento e Sua Função Objetivo*. Segundo Congresso Internacional de Engenharia Industrial e Décimo sexto Encontro Nacional de Engenharia de Produção. Outubro 1996. ENEGEP 96
- [15] HERRMANN, J.W.; LEE, C.-Y.. *On Scheduling to Minimize Earliness-Tardiness and Batch Delivery Costs with a Common Due Date*. European Journal of Operational Research vol. 70, 1993 páginas 272 - 288
- [16] KLEEBANK, V.. *SISEP: Uma proposta de Sistema Baseado em Conhecimento para Escalonamento da produção*. Tese de Mestrado UFRS, Março 1989.

- [17]KLIEMANN F. J. N.; MULLER C. J.M. J. *A Mudança dos Sistemas de Custeio em Ambientes Modernos de Manufatura: um Estudo de Caso* I Congresso Brasileiro de Gestão Estratégica de Custos, Novembro de 1994, Anais p 258-256 Agosto de 1995
- [18]KOONG,C.M.. *The Impact of Scheduling Research On Production Management*. Proceedings of the Second International Conference on Computer Integrated Manufacturing, September 1993, Singapura
- [19]LAKSHMINARAYAN,S.;LAKSHMANAN,R.;PAPINEAU,R.L.;ROCHETE,R.. *Optimal Single Machine with earliness and Tardiness Penalties*. Operations Research vol 26 # 6 Nov/Dez 1978, páginas 1079 - 1083
- [20]LIMA, P. C.. *Um Sistema de Programação Finita Baseado em Lógica Nebulosa*. Tese de Doutorado UNICAMP, Abril 1993.
- [21]LIMA, P. C.. *Notas de Aula do Curso IM326G - Tópicos em Tecnologia Mecânica*. Segundo Semestre de 1994.
- [22]MARTINS E. *Contabilidade de Custos*. 4.ed. São Paulo, Editora Atlas, 1990. 311 p.
- [23]MATTA,R.A... *Lagrangean Decomposition Solution to a Single Line Multiproduct Scheduling Problem*. European Journal of Operational Research, vol 79 Novembro 1994, páginas 25 - 37
- [24]MIRSKY, M.. *The Missing Link*. Editora APICS, Setembro 1992, paginas 24 - 27.
- [25]NAKAGAWA, M.. *Custeio Baseado em Atividades*. São Paulo: Editora Atlas, 1994.
- [26]OSTRENGA, M. R.; OZAN, T. R.; McILHATTAN, R. D.; HARWOOD,M. D.. *Guia da Ernest & Young para Gestão total dos Custos*. Rio de Janeiro: Editora Record Serviços de Imprensa, 1992.
- [27]PANWALKAR,S.S; ISKANDER,W.. *A Survey of Scheduling Rules*. Operations Research vol 25 # 1 Janeiro/Fevereiro 1977, páginas 45 - 61
- [28]PINE II, B. J.. *Mass Customization - The New Frontier in Business Competition*. Boston: Harvard Business School Press, Massachussets, 1993.

- [29]SANTOS,H.C.M.. *Programação da Produção em uma Máquina com Tempos de Preparação Dependentes da Seqüência e Penalidades*. Tese de Mestrado Unicamp Dezembro 1994
- [30]TURNERY,P. B. B.. *Common Cents-The ABC Performance Breakthrough*. Hillsboro: Cost technology, Oregon, 1991.
- [31]ZENG,W.-X.;NAGASAWA,H.;NISHIYAMA,N.. *Single Machine Scheduling for Minimizing Total Costs with identical, Asymetrical Earliness and tardiness Penalties*. International Journal of Production Research vol 37 # 7, 1993, paginas 1611 - 1620

Bibliografia Consultada

- [1] BACIC, M. J., VASCONCELOS, L. A. T. *Introdução aos Sistemas de Custeio*_. Apostila de Aula, Instituto de Economia, Unicamp, 1990. 30 p.
- [2] BACKER, M.; JACOBSEN, L.E. *Contabilidade de Custos. Um Enfoque de Administração de Empresas* Vol.1 1.ed. São Paulo, Editora McGraw-Hill, 1972. 410 p
- [3] BAKER, K.R.. *Introduction to Sequencing and Scheduling*. John Wiley & Sons, 1974
- [4] BARKER, J. R.. *MRPII, Real Time Scheduling and SBM*. MCB University Press. *Assembly Automation*, volume 14, número 2, 1994, páginas 22 - 28.
- [5] BAKER, K.R.; SCUDDER, G.D.. *Sequencing with Earliness and Tardiness Penalties: a Review*. *Operations Research* vol 38 #1, jan/fev 1990, páginas 22 - 36
- [6] BITTAR JR, M. *Análise do Impacto nos Custos Devido a Variações no Mix de Produção e o Cálculo do Custo de Extratos de Clientes Utilizando o Sistema de Custeio Baseado em Atividades*. Campinas, Dissertação de Mestrado, Faculdade de Engenharia Mecânica da UNICAMP, 1996.
- [7] BRIMSON, J.. *Activity-Based Costing Approach*. New York: John Willey & Sons Inc., 1991.
- [8] CARVALHO, M.F.; HADDAD, R.B.B.; FERNANDES, C.A.. *O Planejamento da Manufatura: Complementaridade entre Práticas Industriais e Métodos de Otimização*. Segundo Congresso Internacional de Engenharia Industrial e Décimo Sexto Encontro Nacional de Engenharia de Produção. Outubro 1996. ENEGEP 96.
- [9] CHEN, C.-L.; BULFIN, R.L.. *Scheduling a Single Machine to Minimize Two Criteria: Maximum Tardiness and Number of Tardy Jobs*. *IEE Transactions* volume 26 # 5 Set 1994, páginas 76 - 84.
- [10] CHING, H. Y.. *Gestão Baseada em Custeio por Atividades = ABM*. Activity Based Management. São Paulo: Atlas, 1995.
- [11] COOPER, R.; KAPLAN, R.S. *Measure Costs Right: Make the Right Decisions*. *Harvard Business Review* -September/October 1988 p 96-103
- [12] CORRÊA, H. L, GIANESI, I. G. N.. *Just in Time, MRPII e OPT. Um Enfoque Estratégico*. São Paulo, Editora Atlas, 1993.

- [13] CORSO, J.. *Challenging Old Assumptions With Finite Capacity Scheduling*. Editora APICS, Novembro 1993, páginas 50-53.
- [14] FEDERGRUEN, A.; MOSHEIOV, G.. *Greedy Heuristics for Single Machine Scheduling Problems with General Earliness and Tardiness Costs*. Operations Research Letters 1994, páginas 199 - 208
- [15] GRAVES, S.. *A Review of Production Scheduling*. Operations Research. vol 29 # 4 Julho/Agosto 1981, páginas 646 - 675
- [16] HADDAD, R.B.B.; LIMA, P.C.. *O Uso do ABC como uma Ferramenta de Apoio à Modelagem do Problema de Seqüenciamento e Sua Função Objetivo Segundo Congresso Internacional de Engenharia Industrial e Décimo Sexto Encontro Nacional de Engenharia de Produção*. Outubro 1996. ENEGEP 96
- [17] HAKANSON, W. P.. *MES: Taking the Kinks Out Of Managing Manufacturing Operations*. Editora APICS, Outubro 1993, páginas 43-47.
- [18] HERRMANN, J.W.; LEE, C.-Y.. *On Scheduling to Minimize Earliness-Tardiness and Batch Delivery Costs with a Common Due Date*. European Journal of Operational Research vol. 70, 1993 páginas 272 - 288
- [19] JOHNSON, R. T.; KAPLAN, R. S.. *The relevance Lost: The Rise and Fall of Management Accounting*. First ed.. Boston. harvard Business School Press, 1987, 269p
- [20] KAPLAN, R.S.. *Yesterday's Accounting Undermines Production*. Harvard Business Review. July/August 1984 p 1-6
- [21] KLEEBANK, V.. *SISEP: Uma proposta de Sistema Baseado em Conhecimento para Escalonamento da produção*. Tese de Mestrado UFRS, março 1989.
- [22] KLIEMANN F. J. N.; MULLER C. J.M. J.. *A Mudança dos Sistemas de Custeio em Ambientes Modernos de Manufatura: um Estudo de Caso I Congresso Brasileiro de Gestão Estratégica de Custos*, Novembro de 1994, Anais p 258-256 Agosto de 1995
- [23] KOONG, C.M.. *The Impact of Scheduling Research On Production Management*. Proceedings of the Second International Conference on Computer Integrated Manufacturing, September 1993, Singapura

- [24] LAKSHMINARAYAN, S.; LAKSHMANAN, R.; PAPINEAU, R. L.; ROCHE, R. *Optimal Single Machine with earliness and Tardiness Penalties*. Operations Research vol 26 # 6 Nov/Dez 1978 páginas 1079 - 1083
- [25] LIMA, P. C.. *Um Sistema de Programação Finita Baseado em Lógica Nebulosa*. Tese de Doutorado UNICAMP, Abril 1993.
- [26] MARTINS E. *Contabilidade de Custos*. 4.ed. São Paulo, Editora Atlas, 1990. 311 p.
- [27] MATTA, R.. *A Lagrangean Decomposition Solution to a Single Line Multiproduct Scheduling Problem*. European Journal of Operational Research vol 79 Novembro 1994, páginas 25 - 37
- [28] MILLER, J. G.; VOLLMANN, T. E.. *The Hidden Factory*. Harvard Business Review September/October 1985. p 142-150.
- [29] MIRSKY, M.. *The Missing Link*. Editora APICS, Setembro 1992, páginas 24 - 27.
- [30] NAKAGAWA, M.. *Custeio Baseado em Atividades*. São Paulo: Editora Atlas, 1994.
- [31] OSTRENGA, M. R.; OZAN, T. R.; McILHATTAN, R. D.; HARWOOD, M. D.. *Guia da Ernest & Young para Gestão total dos Custos*. Distribuidora Record de Serviços de Imprensa 1993.
- [32] PANWALKAR, S. S.; ISKANDER, W.. *A Survey of Scheduling Rules*. Operations research vol 25 # 1 Janeiro/Fevereiro 1977, páginas 45 - 61
- [33] PINE II, B. J.. *Mass Customization - The New Frontier in Business Competition*. Boston: Harvard Business School Press, Massachusetts, 1993.
- [34] RODAMMER, F. A.; WHITE JR, K. P.. *A Recent Survey of Production Scheduling*. IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics, volume 8 Novembro/Dezembro 1988, páginas 841-851.
- [35] SANTOS, H. C. M.. *Programação da Produção em uma Máquina com Tempos de Preparação Dependentes da Sequência e Penalidades*. Tese de Mestrado Unicamp Dezembro 1994
- [36] TEIXEIRA, E. M. A.. *Programação Horária de Peças em uma Célula Flexível de Manufatura*. Tese de Doutorado UNICAMP, Setembro, 1993.

- [37]TURNEY,P. B. B.. *Common Cents-The ABC Performance Breakthrough*. Cost Technology. Hillsboro, Oregon, 1991
- [38]VOLLMAN, T. E., BERRY, W. L. WHYBARK, D. C., IRWIN, D. J.. *Manufacturing Planning and Control Systems*. Segunda edição, 1988.
- [39]ZENG,W.-X.;NAGASAWA,H.;NISHIYAMA,N.. *Single Machine Scheduling for Minimizing Total Costs with identical, Asymetrical Earliness and tardiness Penalties*. International Journal of Production Research vol 37 # 7, 1993, paginas 1611 - 1620