

**CESAR TERUO HIRAOKA**

**Método para Seqüenciamento da Produção de Amostras  
no Laboratório de uma Empresa Termoplástica**

SÃO PAULO  
2006

**CESAR TERUO HIRAOKA**

**Método para Seqüenciamento da Produção de Amostras  
no Laboratório de uma Empresa Termoplástica**

Trabalho de Formatura apresentado à Escola  
Politécnica da Universidade de São Paulo para  
obtenção do Diploma de Engenheiro de  
Produção

Orientador: Prof. Dr. Dario Ikuo Miyake

SÃO PAULO  
2006

## **DEDICATÓRIA**

Dedico este trabalho a meus pais, Rubens e Yoshiko.

## **AGRADECIMENTOS**

Ao professor Dario Ikuo Miyake, pela orientação nos momentos de incerteza e pela dedicação.

Ao chefe e amigo Leopoldo Marroig por acreditar sempre no potencial do meu trabalho.

À amiga Angela Marcotti Gutierrez, companheira em todos os momentos.

Aos colegas Denílson e Miguel, da *GE Plastics*, pela colaboração na execução do trabalho com preciosas informações.

À minha querida namorada, Raquel Massami Silva, pela paciência e compreensão, pelo apoio e carinho nos momentos mais difíceis.

## RESUMO

O trabalho propõe um método revisado de seqüenciamento de amostras baseada na regra de priorização Data de Entrega Mais Próxima Primeiro ao invés da regra FIFO (Primeiro que Entra, Primeiro que Sai) combinada com a redução do tempo de produção utilizada atualmente. O objetivo do método revisado é minimizar os atrasos de entrega. Além disso outras regras alinhadas ao negócio da empresa são consideradas.

**Palavras-chave:** Programação da Produção. Regras de Seqüenciamento. Teste de Hipóteses.

## **ABSTRACT**

This work proposes a scheduling model for samples production based on the Earliest Due Date First rule instead of First In First Out rule currently applied in combination with Production Time Reduction. The objective of this project is to minimize samples shipment lateness. Beside this rule, other rules aligned to business are considered.

**Keywords:** Production Scheduling. Scheduling Rules. Hypothesis Test.

## SUMÁRIO

<b>LISTA DE FIGURAS.....</b>	<b>9</b>
<b>LISTA DE TABELAS.....</b>	<b>11</b>
<b>LISTA DE EQUAÇÕES.....</b>	<b>13</b>
<b>LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS.....</b>	<b>14</b>
<b>LISTA DE SÍMBOLOS.....</b>	<b>16</b>
<b>1 INTRODUÇÃO.....</b>	<b>17</b>
1.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS.....	17
1.2 DEFINIÇÃO DO PROBLEMA.....	17
1.3 JUSTIFICATIVA DO PROBLEMA.....	19
1.4 OBJETIVO DO TRABALHO.....	20
1.5 ESCOPO E ABORDAGEM DO TRABALHO.....	20
1.6 A EMPRESA.....	21
1.6.1 A Unidade de Negócio.....	23
1.6.2 Área de Estágio.....	27
1.6.3 Organograma.....	28
1.7 ESTRUTURA DO TRABALHO.....	30
<b>2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....</b>	<b>32</b>
2.1 TESTE DE HIPÓTESES.....	32
2.2 SEQÜENCIAMENTO DE OPERAÇÕES.....	39
2.3 SISTEMA DE CONTROLE DE OPERAÇÕES ( <i>SHOP FLOOR CONTROL</i> ).....	44
<b>3 ANÁLISE.....</b>	<b>46</b>
3.1 ANÁLISE DA EFETIVIDADE DAS AMOSTRAS.....	46
3.1.1 Primeira análise: Cliente e Família de produto.....	48
3.1.2 Segunda análise: Cliente.....	51
3.1.3 Terceira análise: Família de produto.....	55
3.1.4 Quarta análise: Solicitante.....	58
3.1.5 Conclusão das Análises.....	60
3.2 ANÁLISE DA DINÂMICA ATUAL.....	61
3.2.1 Sistema de Produção do Laboratório.....	61

3.2.2	<i>Dimensão da Produção do Laboratório.....</i>	64
3.2.3	<i>Fluxograma do Sistema Atual .....</i>	65
<b>4</b>	<b>REVISÃO DO MÉTODO DE PROGRAMAÇÃO .....</b>	<b>69</b>
4.1	MÉTODO DE PRIORIZAÇÃO DAS ORDENS DE PRODUÇÃO .....	69
4.1.1	<i>Definições do Método.....</i>	69
4.1.2	<i>Descrição do Método .....</i>	71
4.2	ILUSTRAÇÃO DA DINÂMICA DO MÉTODO REVISADO .....	73
<b>5</b>	<b>RESULTADOS.....</b>	<b>76</b>
5.1	VERIFICAÇÃO DO MÉTODO PROPOSTO .....	76
5.1.1	<i>Considerações Sobre a Simulação .....</i>	76
5.1.2	<i>Procedimento da Simulação.....</i>	78
5.1.3	<i>Resultados.....</i>	93
5.2	AVALIAÇÃO DOS RESULTADOS.....	95
<b>6</b>	<b>DISCUSSÃO DOS RESULTADOS E CONCLUSÃO.....</b>	<b>98</b>
6.1	RESULTADOS DA AVALIAÇÃO COMPARATIVA DOS MÉTODOS DE SEQÜENCIAMENTO ATUAL E DO PROPOSTO .....	98
6.2	CONCLUSÃO .....	99
<b>7</b>	<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>100</b>
	<b>ANEXO A – EXEMPLOS DE COMPARAÇÃO DE REGRAS DE SEQÜENCIAMENTO .....</b>	<b>102</b>
	EXEMPLO 1 .....	102
	EXEMPLO 2.....	106
	EXEMPLO 3.....	108

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Principais estágios de desenvolvimento de um novo produto .....	20
Figura 2 - Visão do macro-processo de fornecimento de amostras.....	21
Figura 3 - Segmentos de negócios da GE.....	22
Figura 4 - Presença mundial da GE <i>Plastics</i> . ....	23
Figura 5 - Algumas aplicações dos produtos da GE <i>Plastics</i> .....	24
Figura 6 - Estratégia competitiva genérica da empresa.....	26
Figura 7 - Organograma da <i>GE Plastics Latin America</i> .....	29
Figura 8 - Estrutura do trabalho.....	31
Figura 9 - Relatório gerado pelo <i>software</i> MINITAB.....	37
Figura 10 - Função densidade de probabilidade da distribuição Qui-Quadrado .....	39
Figura 11 - Relatório de resultados da análise da interação Cliente e Família de produto. ....	49
Figura 12 - Relatório de resultados da análise de sensibilidade da interação Cliente e Família. .....	50
Figura 13 - Diagrama de Pareto da frequência de solicitações dos Clientes.....	51
Figura 14 – Principais Clientes que representam 80% do total de solicitações de amostra. ....	52
Figura 15 - Relatório de resultados da análise dos Clientes 1 a 11. ....	53
Figura 16 - Relatório de resultados da análise dos Clientes 2 a 11. ....	54
Figura 17 - Relatório de resultados da análise dos Clientes 2 a 7, 9 a 11. ....	55
Figura 18 - Diagrama de Pareto da quantidade de solicitações por família de produtos .....	56
Figura 19 - Relatório de resultados da análise de Família 1, 2, 5, 6, 7 e 9.....	58
Figura 20 - Relatório de resultados da análise das Famílias 1, 5, 6, 7 e 9.....	58
Figura 21 - Relatório de resultados da análise dos 13 principais solicitantes. ....	60
Figura 22 - Esquema de extrusora. ....	61
Figura 23 - Cabeçote, matriz e tanque de resfriamento.....	62
Figura 24 - Demanda semanal de solicitações.....	64

Figura 25 - Solicitações produzidas e amostras em espera. ....	65
Figura 26 - Fluxograma atual. ....	65
Figura 27 - Esquema geral do método revisado. ....	72
Figura 28 - Dinâmica do método revisado .....	75

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Possíveis resultados de um teste de hipóteses e suas probabilidades condicionadas à realidade.....	33
Tabela 2 - Tabela de contingência L por C. ....	34
Tabela 3 - Cálculo prático das frequências esperadas $E_{ij}$ .....	35
Tabela 4 - Cálculo da estatística $\chi^2_v$ .....	36
Tabela 5 - Comparação dos resultados das regras de seqüenciamento. ....	42
Tabela 6 - Resumo dos resultados de regras de seqüenciamento. ....	43
Tabela 7 - Resumo dos resultados de regras de seqüenciamento. ....	43
Tabela 8 - Tabela de contingência genérica .....	47
Tabela 9 – Relação das Famílias de produtos.....	48
Tabela 10 - Tabela de contingência para Cliente e Família de produto. ....	49
Tabela 11 - Tabela de contingência para Análise de sensibilidade, Cliente e Família.....	50
Tabela 12 - Tabela de contingência para Clientes. ....	52
Tabela 13 - Quantidade de solicitações de amostra por Família de produtos. ....	56
Tabela 14 – Informações das Famílias de produto. ....	57
Tabela 15 - Tabela de contingência para Famílias de produto. ....	57
Tabela 16 - Quantidade de solicitações por solicitante. ....	59
Tabela 17 - Tabela de contingência para Solicitantes. ....	59
Tabela 18 - Quantidade média de solicitações produzidas por dia.....	77
Tabela 19 - Roscas para cada Família de produto. ....	79
Tabela 20 – Seqüência de cores que exige a lavagem da linha. ....	79
Tabela 21 - Lista de amostras pendentes do dia 3/4/2006, às 8h.....	81
Tabela 22 - Balanço de solicitações no final do dia 3/4/2006. ....	82
Tabela 23 - Lista de amostras pendentes do dia 4/4/2006, às 8h.....	83

Tabela 24 - Balanço de solicitações no final do dia 4/4/2006.....	84
Tabela 25 - Lista de amostras pendentes do dia 5/4/2006, às 8h.....	85
Tabela 26 - Balanço de solicitações no final do dia 5/4/2006.....	86
Tabela 27 - Lista de amostras pendentes do dia 6/4/2006, às 8h.....	87
Tabela 28 - Balanço de solicitações no final do dia 6/4/2006.....	88
Tabela 29 - Lista de amostras pendentes do dia 7/4/2006, às 8h.....	89
Tabela 30 - Balanço de solicitações no final do dia 7/4/2006.....	90
Tabela 31 - Lista de amostras pendentes do dia 8/4/2006, às 8h.....	91
Tabela 32 - Balanço de solicitações no final do dia 8/4/2006.....	92
Tabela 33 - Relatório de produção que foi apontado na semana considerada.....	93
Tabela 34 - Seqüenciamento das ordens conforme o método proposto e simulação de sua produção. ....	94
Tabela 35 - Solicitações não produzidas na semana fiscal 14.....	95
Tabela 36 – Memória de cálculo dos resultados.....	96
Tabela 37 - Comparação do resultado do método revisado com a situação atual.....	97

## LISTA DE EQUAÇÕES

Equação 1 - Estatística $\chi^2$ .....	34
Equação 2 - Regra prática para o cálculo das frequências esperadas.....	35
Equação 3 – Cálculo dos graus de liberdade .....	37

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABS	Acrilonitrila - Butadieno - Estireno
APICS	<i>Association for Operations Management</i>
ASA	Acrílico-Estireno-Acrilonitrila
CIF	<i>Cost, Insurance and Freight</i>
CR	<i>Critical Ratio</i>
DDATE	<i>Due Date</i>
EDD	<i>Earliest Due Date</i>
ERP	<i>Enterprise Resource Planning</i>
FCFS	<i>First Come First Served</i>
FIFO	<i>First In First Out</i>
FOB	<i>Free On Board</i>
GE	<i>General Electric</i>
ISO	<i>International Organization for Standardization</i>
IT	<i>Information Technology</i>
PBT	Politereftalato de Butileno
PC	Policarbonato
PET	Polietileno Tereftalado
PPO	Polióxido de Fenileno
QTDE	Quantidade
SAL	Solicitação de Amostra de Laboratório
SDC	Solicitação de Desenvolvimento de Cor
SFC	<i>Shop Floor Control</i>
SOT	<i>Shortest Operating Time</i>
SPT	<i>Shortest Processing Time</i>

UV

Ultra-Violeta

## LISTA DE SÍMBOLOS

$E_{ij}$	Frequência esperada
$H_0$	Hipótese nula
$H_a$	Hipótese alternativa
$O_{ij}$	Frequência observada
$\chi^2_v$	Estatística Qui Quadrado

# 1 INTRODUÇÃO

## 1.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS

A empresa em que o presente trabalho foi realizado é a *General Electric Plastics Latin America (GE Plastics Latin America)*. A atividade principal da empresa é a fabricação e a comercialização de plásticos definidos como de engenharia ou de alta tecnologia. Um dos diferenciais desta empresa é o desenvolvimento de aplicações de seus produtos junto aos clientes e neste contexto a produção de amostra é uma etapa crucial. Vale mencionar que a empresa não cobra as amostras enviadas a seus clientes, arcando com todos os custos e despesas.

O laboratório da empresa precisa freqüentemente produzir amostras de seus produtos tanto para a introdução de um novo produto da GE no cliente como a pedido da área comercial. A área comercial solicita a produção de amostras toda vez que há qualquer mudança nas características do produto e há a necessidade de que o cliente realize um teste. O respeito à data de entrega requerida pelo cliente final é uma necessidade identificada pelos clientes internos do laboratório na empresa, as áreas Comercial e de Marketing.

Em linhas gerais, estas áreas solicitam as amostras ao Laboratório que depois de produzi-las encaminham-nas à área de Expedição.

O presente trabalho faz parte de um projeto maior da empresa cujo objetivo é reduzir o tempo de ciclo de produção e de envio das amostras aos clientes finais. Trata-se de um estudo aprofundado de um assunto que não foi abordado com o devido cuidado pelo projeto.

## 1.2 DEFINIÇÃO DO PROBLEMA

Define-se que o tempo de ciclo de produção tem início no momento da solicitação da amostra e término com a expedição da mesma. Atualmente, os clientes internos são prejudicados com tempos de ciclo de produção de amostras elevados: constantes reclamações de clientes são percebidas em visitas comerciais assim como em pesquisas de satisfação junto a clientes.

Um levantamento histórico de janeiro de 2004 a junho de 2006 mostra que 95% das amostras de laboratório, chamadas Solicitações de Amostra de Laboratório (SAL), têm ciclo de produção de até 14 dias úteis e 95% das amostras de desenvolvimento de cor chamadas

Solicitações de Desenvolvimento de Cor (SDC) têm ciclo de produção de até 23 dias úteis. A meta estipulada pela empresa é ter 95% de suas amostras SAL e SDC dentro de tempos de ciclo de 12 e 16 dias úteis, respectivamente. Além disso, tempos de ciclos elevados vêm acompanhados de atrasos na entrega da amostra. Ocorrem, por exemplo, atrasos de até 30 dias úteis que acabam prolongando o tempo de ciclo e prejudicam o cliente final da GE *Plastics Latin America*.

Levantamento recente (junho de 2006) mostra que 75% do tempo de ciclo é gasto na etapa de expedição da amostra, após a produção do laboratório. Nesta etapa, verifica-se constante acúmulo de estoque de amostras acabadas que ficam aguardando o momento de serem expedidas. Depara-se portanto com uma situação paradoxal porque de um lado verifica-se fila de solicitações no laboratório e de outro ocorre acúmulo de estoque na área de expedição. Uma análise prévia das causas deste acúmulo de estoque aponta que muitas destas amostras aguardam que os clientes as retirem na planta da GE.

Outro fator que prejudica o tempo de ciclo de fornecimento de amostras é a baixa efetividade da amostra porque, freqüentemente, tempo é gasto na produção de amostras que acabam não se revertendo em vendas para a empresa. Considera-se efetividade da amostra a correlação entre o envio da mesma e a realização do pedido de venda. A efetividade mede se a mostra alcançou seu objetivo que é fomentar as vendas. Um levantamento das amostras enviadas em 2005 revelou que somente 24%<sup>1</sup> delas resultou em um pedido de venda. Verifica-se na prática que a solicitação das amostras pelo cliente final ou pelo cliente interno não é criteriosa, levando a desperdícios.

O projeto na qual o presente trabalho está inserido foca seus esforços em reduzir o tempo de ciclo de produção. Entretanto, verifica-se que o cliente antecipa muito a solicitação da amostra o que aumenta o tempo entre a data de solicitação e a data requerida. A redução de tempo de ciclo não necessariamente tem impacto sobre o cliente final porque a amostra produzida antes da data requerida não necessariamente agrega valor ao cliente. Por este motivo o presente trabalho objetiva reduzir o atraso na expedição da amostra ao invés de reduzir o tempo de ciclo de produção, sendo o atraso definido como a diferença negativa entre a data de expedição da amostra e a data requerida pelo cliente.

---

<sup>1</sup> Buscou-se pedidos de vendas após a data de entrega da amostra, cujo cliente e produto fossem os mesmos da amostra.

### 1.3 JUSTIFICATIVA DO PROBLEMA

Antes de mais nada, a empresa fornece amostras de seus produtos a seus clientes finais com o intuito de aumentar suas vendas. Kotler (1995, p. 217) define oito estágios do processo de desenvolvimento de um novo produto representados na Figura 1 (KOTLER, 1995, p. 217). Nesta mesma figura, destacou-se o estágio “Desenvolvimento do produto” por se tratar do momento em que as amostras são utilizadas no processo de desenvolvimento de novos produtos do cliente final. Neste estágio, as amostras desempenham papel importante porque são necessárias para os seguintes fins:

- Verificação da “processabilidade” da matéria-prima
- Validação das características e propriedades da peça
- Validação da cor desenvolvida

A política da GE *Plastics* de fornecer amostras gratuitamente e melhorar este processo visa colaborar com o desenvolvimento de novas aplicações de seus plásticos junto ao cliente final.

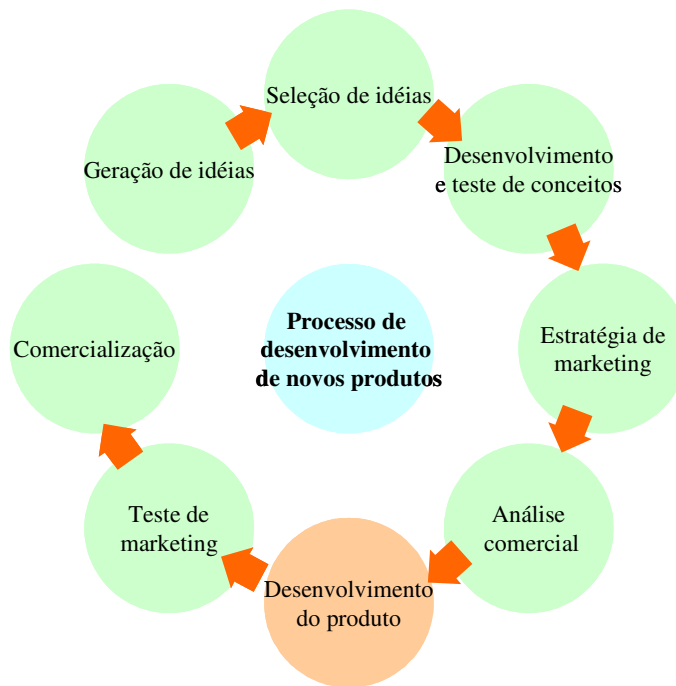
Um outro cenário no cliente que demanda oferecimento de amostras é a possível substituição de seu fornecedor atual pela GE *Plastics*. Para testar o material da GE *Plastics* o cliente final faz a solicitação de amostra.

Em ambos os contextos, verifica-se que há espaço para crescer no mercado de plásticos em volume de vendas. O papel das amostras no cliente final é, portanto, em última instância reforçar os esforços de expansão do mercado dos produtos da GE *Plastics*.

A melhoria do processo de fornecimento de amostra encontra um contexto favorável. Nos últimos dois anos, a corporação GE por meio de seu executivo-chefe (CEO) vem insistindo no crescimento orgânico<sup>2</sup> como objetivo global da empresa. Um dos caminhos para se alcançar este objetivo é aumentar a participação no mercado de plásticos, e a amostra desempenha um papel importante neste processo conforme anteriormente discutido. Portanto, prover o cliente corretamente e o mais rápido possível é chave para o crescimento do negócio na América Latina.

---

<sup>2</sup> Crescimento orgânico, diferentemente de crescimento por aquisições, é interno à empresa e está relacionado com suas próprias operações.



**Figura 1 - Principais estágios de desenvolvimento de um novo produto**

#### **1.4 OBJETIVO DO TRABALHO**

O principal objetivo do presente trabalho é portanto:

- Reduzir o atraso médio e o máximo atraso de entrega da amostra.

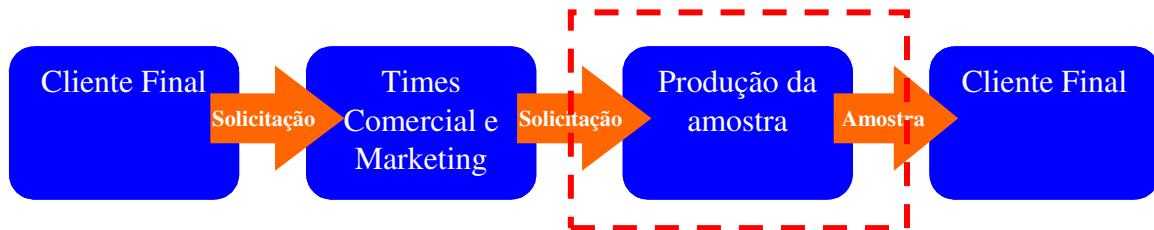
Além disso, pretende-se realizar uma análise com o propósito de definir ações para aumentar a efetividade da amostra, ou seja, para aumentar a probabilidade de haver pedido de venda através do envio de amostras.

#### **1.5 ESCOPO E ABORDAGEM DO TRABALHO**

A visão macro do processo de produção de amostras é esquematizado na Figura 2. O macro processo de fornecimento de amostras tem início no cliente final. As equipes comercial e de marketing canalizam a necessidade do cliente final para dentro da empresa. A produção da amostra é realizada e o macro-processo termina quando o cliente recebe a amostra.

Entretanto, o escopo do trabalho é limitado à etapa de produção da amostra demarcada na Figura 2 com uma linha tracejada. Esta etapa do processo está limitada entre a solicitação pelo

cliente interno e a expedição da amostra. A etapa do processo pós expedição referente ao transporte da amostra não faz parte do escopo, por definição do patrocinador (*sponsor*) do projeto da empresa no qual o presente trabalho está inserido. Este projeto tem como objetivo reduzir o tempo de ciclo de produção de amostras. O presente trabalho propõe estudar mais a fundo um processo mais específico, o processo de seqüenciamento de produção no laboratório, que não foi devidamente explorado. Esta discussão será retomada na seção 1.6.2.



**Figura 2 - Visão do macro-processo de fornecimento de amostras**

Os clientes do projeto desenvolvido para fins deste trabalho são clientes internos da empresa, das áreas comercial e de marketing e estão dentro do escopo as amostras do tipo SAL e SDC.

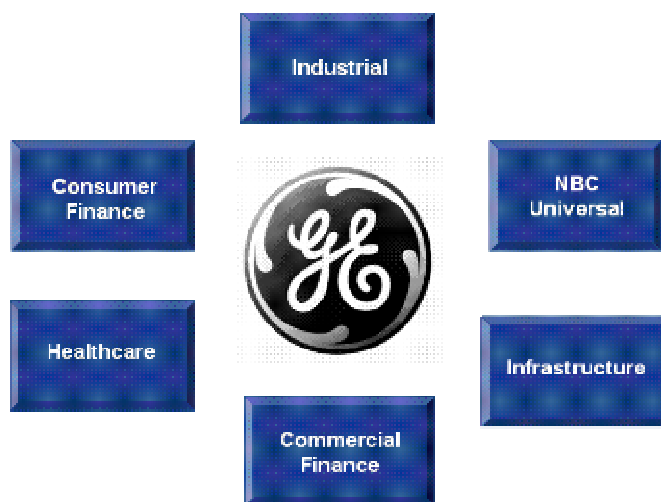
A proposta do presente trabalho é desenvolver uma solução que parte do método atual de programação da produção do laboratório e, por meio de uma análise dos critérios de tomada de decisão, estabelecer um método simples, dinâmico, de fácil compreensão por parte do pessoal do laboratório e de fácil implementação, ou seja, que não exija grandes investimentos.

## 1.6 A EMPRESA

### GE no Mundo

A *General Electric Company* foi resultado da fusão de duas companhias que tinham uma posição dominante na indústria elétrica, a *Edison General Electric Company* de Thomas Edison e a *Thomson-Houston Company* em 1890. Os primeiros eletrodomésticos, ventiladores elétricos, foram produzidos no início dos anos 90 do século XIX. Aparelhos de aquecimento e de cozimento foram desenvolvidos em 1907. GE Motores de Aviões (*GE Aircraft Engines*) iniciou sua história em 1917 quando o governo norte americano iniciava sua procura por uma empresa que pudesse desenvolver o primeiro motor de aviões a explosão para a incipiente indústria de aviação norte americana. Os experimentos com filamentos de plástico para as lâmpadas em 1893 levaram à criação do primeiro departamento da GE Plastics, criado em 1930. Hoje a GE conta com um portfólio de negócios muito diversificado dividindo seus

negócios em seis segmentos *Industrial*, *NBC Universal* (mídia), *Infrastructure*, *Commercial Finance*, *Healthcare* e *Consumer Finance*. Os seus segmentos estão representados na Figura 3. O segmento Industrial é formado pelas seguintes unidades de negócios: *Consumer & Industrial*, *Equipment Services* e *Plastics*.



**Figura 3 - Segmentos de negócios da GE.**

Trata-se de uma empresa centenária que se tornou gigantesca. Ela opera em mais de 100 países e emprega cerca de 300 mil pessoas em todo o mundo. Possui plantas em 32 países e centros de pesquisa nos EUA, Alemanha, Índia e China. Conta com 307.000 funcionários no mundo. Seu faturamento anual em 2005 foi US\$ 160 bilhões, e há previsão de crescimento para o ano de 2006. É uma empresa consolidada, seu faturamento e seu lucro cresceram cerca de 3,5 vezes nos últimos 10 anos.<sup>3</sup>

### **GE no Brasil**

No Brasil, a GE mantém operações desde 1919. Possui atualmente oito instalações industriais, distribuídas entre os Estados de São Paulo, Minas Gerais e Rio de Janeiro, além de escritórios de vendas e marketing em outras localidades. Com cerca de 6.000 empregados no país, a empresa tem sua matriz instalada na cidade de São Paulo<sup>3</sup>.

---

<sup>3</sup> Fonte: <http://www.ge.com/br/>

## 1.6.1 A Unidade de Negócio

### A GE *Plastics* no Mundo

A GE *Plastics* está inserida no segmento *Industrial*, um dos seis segmentos de negócio da GE. Ela está dividida em três pólos, América, Europa e Pacífico. O pólo da América compreende 18 localidades entre plantas e escritórios. As localidades estão listadas na Figura 4. O faturamento anual da GE *Plastics* em 2005 foi de 6,6 bilhões de dólares.

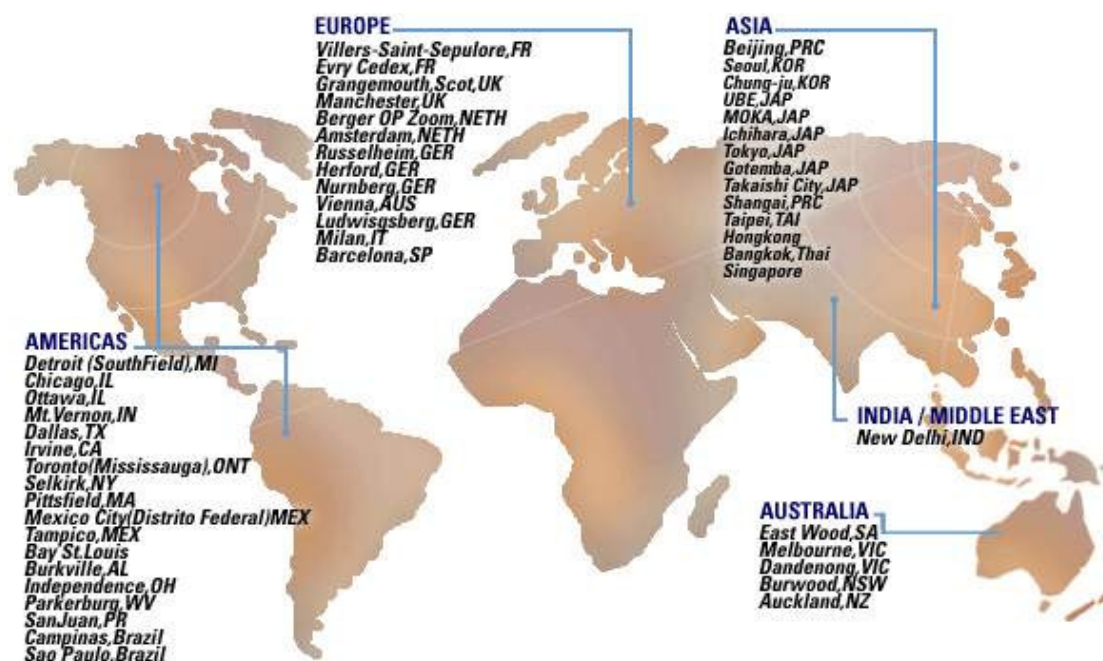


Figura 4 - Presença mundial da GE *Plastics*.

### A GE *Plastics* na América Latina

A GE *Plastics Latin America* possui operações ininterruptas em suas fábricas situadas no distrito industrial de Campinas e em Tortuguitas (Argentina). Sua sede administrativa está localizada na cidade de São Paulo e comercializa em quatro países da América do Sul e no México, contando com um escritório neste último país.

O faturamento em 2005 foi de aproximadamente 300 milhões de dólares e o número total de funcionários é de cerca de 180. Atualmente, a planta de Campinas tem capacidade de 17500 toneladas/ano, operando com a totalidade de sua capacidade. A GE *Plastics Latin America* oferece uma gama de 792 produtos. Seus produtos são *pellets* ou grãos como mostra a Figura 5. A aplicação dos produtos fornecidos pela GE *Plastics Latin America* se faz nos seguintes

segmentos: automotivo como mostra a Figura 5, médico-hospitalar, construção, transportes, eletro-eletrônico, telecomunicações como mostra a Figura 5, cuidados pessoais, embalagens, equipamentos de recreação e mídia e segurança. O crescimento de suas operações se reflete no aumento da capacidade produtiva com a aquisição de uma nova linha de produção para o ano de 2007<sup>4</sup>.



**Figura 5 - Algumas aplicações dos produtos da GE Plastics.**

### **Estratégia competitiva genérica da empresa**

Segundo Porter (1991, p. 49), as empresas devem adotar estratégias internamente consistentes para criar uma posição defensável a longo prazo e para superar os concorrentes em uma indústria. A indústria no contexto da *GE Plastics* pode ser definida como indústria de termoplásticos; dela fazem parte empresas como a Dupont, Bayer, Basf, Dow, Rhodia, Policarbonato do Brasil e Lanxess (informação verbal)<sup>5</sup>. Estas estratégias bem sucedidas para superar as outras empresas em uma indústria são chamadas de estratégias competitivas. Três estratégias competitivas genéricas são definidas por Porter: liderança em custo, diferenciação e enfoque.

<sup>4</sup> Informações fornecidas pela empresa em 30 de setembro de 2006.

<sup>5</sup> Informação fornecida pela empresa em 22 de agosto de 2006.

A estratégia de liderança no custo total consiste em “atingir a liderança no custo total em uma indústria através de um conjunto de políticas funcionais orientadas para este objetivo básico” (PORTER, 1991, p. 50). Esta estratégia é bem sucedida em proteger a empresa de seus concorrentes porque permite que a empresa tenha uma maior margem de lucro em relação a seus concorrentes, devido à vantagem de custo e à economia de escala. Para se obter estas duas vantagens são necessários:

(...) a construção agressiva de instalações em escala eficiente, uma perseguição vigorosa de reduções de custo pela experiência, um controle rígido do custo e das despesas gerais (...), e a minimização do custo em áreas como Pesquisa e Desenvolvimento (P & D), assistência, força de vendas, publicidade etc. (PORTER, 1991, p. 50).

Este tipo de prática não é encontrada em empresas como a *GE Plastics* porque a estratégia competitiva genérica desta empresa é a diferenciação (Figura 6). Esta estratégia consiste em “diferenciar o produto ou serviço oferecido pela empresa, criando algo que será considerado único ao âmbito de toda a indústria” (PORTER, 1991, p. 51). Esta ou estas características únicas diferenciam a empresa em várias dimensões tendo como objetivo conquistar a lealdade dos clientes com relação à marca, tornando-os menos sensíveis ao preço. Desta forma, a empresa produz margens de lucro mais altas.

A *GE Plastics* procura diferenciar seus produtos oferecendo a seus clientes um portfólio de materiais termoplásticos chamados de plásticos de engenharia pois levam em si características especiais como resistência à chama, resistência ao calor, resistência química aos agentes inorgânicos, alta resistência mecânica, resistência a intempéries, estabilidade às radiações ultravioleta (UV), excelente estabilidade dimensional, estabilidade hidrolítica e a mais baixa absorção de água, resistência à oxidação, etc. Não há entre os produtos oferecidos pela empresa *commodities* como o Polietileno Tereftalado (PET) porque a concorrência domina a tecnologia deste tipo de plástico.

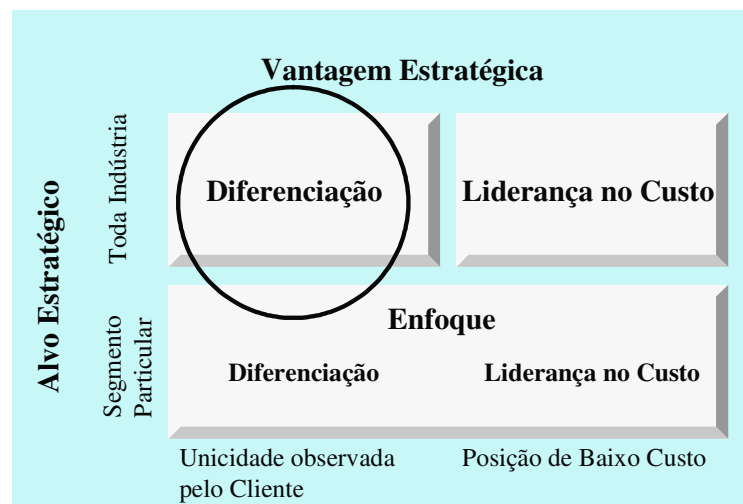
Além das propriedades citadas acima, a empresa oferece uma gama de 792 produtos. Seus produtos têm o diferencial de serem pigmentados, o que traz grande vantagem ao cliente final porque dispensa a etapa de pintura em seu processo.

Para suportar esta tão variada gama de produtos, a empresa conta com uma produção altamente flexível, com níveis de otimização de operação que são referências mundiais. O estágio de aplicação de metodologias como o *Six Sigma* e o *Lean Production* na empresa já está bastante avançado justificando sua excelência operacional.

A *GE Plastics* procura se diferenciar também na dimensão de serviços. Ela oferece suporte técnico diferenciado a seus clientes com o objetivo de conquistar a lealdade de seus clientes. Este suporte técnico ocorre tanto na fase inicial do projeto no cliente final como durante o processamento do plástico com o acompanhamento de uma equipe dedicada da *GE Plastics*. Durante a fase inicial do projeto, uma equipe de engenharia da *GE Plastics* propõe soluções de materiais que satisfazem às necessidades do cliente. Esta equipe acompanha todo o projeto, certificando-se de que o cliente consiga produzir suas peças com êxito. Um profissional dedicado a dar suporte ferramental aos clientes faz parte do serviço oferecido pela empresa. Este suporte destina-se basicamente à revisão e melhoria de desenhos de moldes. Este tipo de suporte completo, no Brasil, é exclusividade da empresa em questão e tem sido reconhecida pelos clientes em pesquisas de satisfação (informação verbal)<sup>6</sup>.

A terceira estratégia competitiva genérica é “enfocar um determinado grupo comprador, um segmento da linha de produtos, ou um mercado geográfico” (PORTER, 1991, p. 52). Não é o caso da *GE Plastics* que aborda o mesmo grupo comprador que seus competidores e não enfoca uma linha de produtos ou mercado geográfico específico.

Porter (1991) propõe o esquema da Figura 6 para apresentar as três estratégias competitivas genéricas. Esta mesma figura assinala a estratégia competitiva genérica da *GE Plastic*.



**Figura 6 - Estratégia competitiva genérica da empresa**

<sup>6</sup> Informação fornecida pela empresa em 30 de outubro de 2006.

### 1.6.2 Área de Estágio

A área em que o autor desenvolveu o estágio para fins de desenvolvimento do presente trabalho é a área de *Six Sigma*. O *Six Sigma* teve origem na Motorola em 1979 em uma época em que muitas empresas acreditavam que a qualidade custava dinheiro. “A Motorola percebeu que fazer certo, melhorando a qualidade, reduziria custos” (HARRY, 2000, p. 9, tradução nossa). A introdução do *Six Sigma* na GE teve início em 1996 sob a liderança de Jack Welch, seu CEO na época. Em 1997, a GE investiu 250 milhões de dólares treinando 4 mil *Black Belts* e *Master Black Belts* e mais de 60 mil *Green Belts*. Este investimento deu um retorno de 300 milhões de dólares para a empresa em 1997.

Hoje o *Six Sigma* faz parte da cultura da empresa. Todos os funcionários devem realizar o treinamento de *Green Belt* e devem realizar uma prova referente ao assunto antes de completar seu primeiro ano na GE. A GE é referência para outras empresas neste assunto. Atualmente o *Six Sigma* passa por uma renovação incorporando pontos da filosofia do *Lean Production*. A área de *Six Sigma* da *GE Plastics Latin America* é organizada de forma a coordenar projetos *Six Sigma* nas diversas áreas funcionais. No caso do presente trabalho, as áreas funcionais em que o projeto foi conduzido são as áreas comercial e de marketing.

Segundo Harry (2000) projetos *Six Sigma* são projetos de resolução de problemas de um processo. A metodologia descritiva chamada de DMAIC é utilizada e suas fases são Definir (*Define*), Medir (*Measure*), Analisar (*Analyze*), Melhorar (*Improve*) e Controlar (*Control*). O *Six Sigma* tem forte enfoque no cliente como pode ser percebido na declaração de Jack Welch, ex CEO da GE, na reunião anual de 1997.

Os melhores projetos *Six Sigma* não começam dentro do negócio mas fora dele, focados em responder a questão – como podemos fazer o cliente mais competitivo? O que é crítico para o sucesso do cliente? Encontrar a resposta a esta questão e em seguida aprender como prover a solução é o único foco que precisamos (WELCH, J., 1997 apud HARRY, 2001, tradução nossa).

Projetos *Six Sigma* prevêem diferentes participantes. Fazem parte de um projeto *Six Sigma* na *GE Plastics Latin America* o patrocinador (*sponsor*), o líder de projeto (*leader*) que é *Green Belt* (GB), o *Black Belt* (BB) e/ou o *Master Black Belts* (MBB) e os membros do time (*Team Members*). A figura do *Champion* não é utilizada na *GE Plastics Latin America*. Ela é substituída pela figura do *Sponsor* que é uma pessoa de nível hierárquico elevado, como diretores e o presidente. Esta figura representa o comprometimento da alta gerência em executar o projeto. Sua principal função é suportar o projeto, em termos de recursos

(investimentos ou pessoas) ou quando há conflitos entre diferentes áreas funcionais. Cabe ao *Sponsor* identificar projetos também.

O MBB é a pessoa mais experiente em *Six Sigma*. Segundo Harry (2000), o MBB treina os BB e os GB, organiza pessoas, estrutura e coordena projetos e reuniões, mentora os líderes, coleta e organiza informações. Ele, junto ao *Sponsor* é responsável pela escolha dos projetos e pela aprovação ao término dos mesmos. O BB está em uma posição intermediária, ente o MBB e o GB. Ele desempenha as mesmas atividades que o MBB, com a diferença de acompanhar os projetos dos GB mais de perto. Vale lembrar que o BB também pode liderar projetos que normalmente são mais complexos que os liderados por GB.

O GB realiza projetos *Six Sigma* em tempo parcial, ou seja, a pessoa tem suas responsabilidades de sua área funcional e, em paralelo, lidera um projeto *Six Sigma*.

Os membros do time são recursos da empresa, da mesma área funcional ou de outras áreas, requeridos pelo líder para a execução do projeto.

O autor do trabalho é membro do time do projeto de redução do tempo de ciclo de produção de amostras. Ele entendeu que a melhoria do método para seqüenciamento da produção de amostras no laboratório teria um impacto significativo no cliente e nos resultados do projeto de tempo de ciclo. Contudo, o estudo deste assunto não foi aprofundado pelo time de projeto e portanto o presente trabalho pretende fazê-lo.

As análises deste trabalho fazem parte da fase *Analyze* do projeto. O método revisado está inserido no início da fase *Improve*.

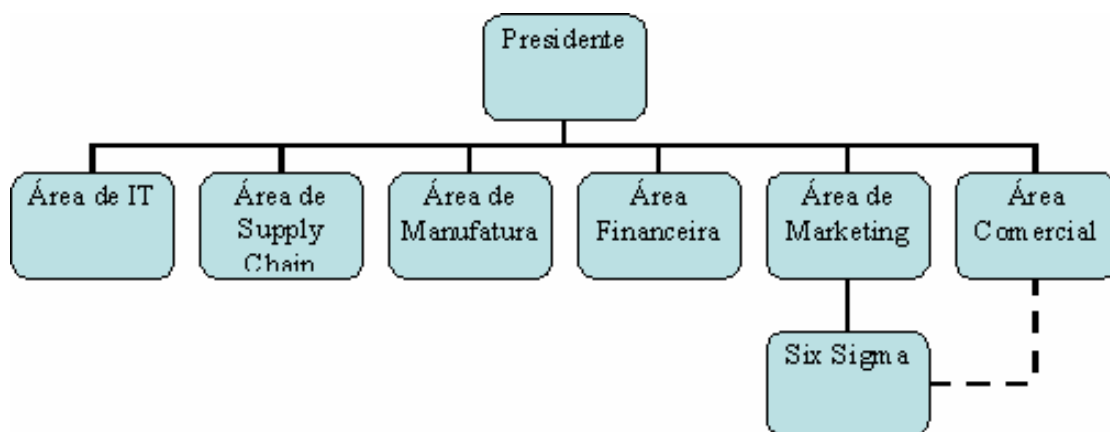
### 1.6.3 Organograma

O organograma da empresa é esquematizado na Figura 7. Apesar de estar localizada no organograma abaixo das áreas de Marketing e Comercial, a área de *Six Sigma* interage com todas as áreas funcionais da empresa, seja mentorando projetos específicos da área, seja envolvendo diversas áreas em um mesmo projeto. O autor observa que grande parte dos projetos, por exemplo, utilizam recursos da área de Tecnologia da Informação, em inglês *Information Technology* (IT) para a criação de relatórios gerenciais ou para a criação de painéis de acompanhamento de processos chamados em inglês de *tracking cockpits*.

Para complementar a compreensão do organograma da empresa esquematizada na Figura 7, faz-se necessária a explicação de duas áreas, *Supply Chain* e *Marketing*. É de responsabilidade da área de *Supply Chain* a garantia do fornecimento de matérias-primas para

a área de manufatura e para o laboratório, a programação da produção nas linhas de produção que não o laboratório, o armazenamento das matérias-primas e dos produtos acabados, a movimentação de materiais no estoque, o controle de estoque, o inventário anual (verificação do estoque físico com o estoque no sistema de informação), a expedição de produtos acabados, o transporte de produtos acabados e de matérias-primas, etc. A sub-área de Serviço ao Cliente (*Customer Service*) tem participação importante no processo de produção e expedição de amostras e está posicionada dentro da área de *Supply Chain*. Seu time está em contato permanente com os clientes a fim de fornecer-lhes informações a respeito do andamento do processo de produção do plástico. Dentre suas atribuições está a de contatar o cliente que solicitou uma amostra para acertar a data e a forma de entrega da amostra.

A área de Marketing na *GE Plastics Latin America*, por sua vez, é responsável principalmente por desenvolver no cliente final aplicações para os produtos da *GE Plastics*. Diferentemente da conotação de vendas e propaganda que normalmente se utiliza para a palavra Marketing, esta área tem um caráter muito mais técnico de suporte ao cliente final. Uma equipe especializada em produtos termoplásticos e em processos como injeção e extrusão dá suporte aos clientes finais. A área de Marketing da *GE Plastics Latin America* está totalmente de acordo com a definição simples de que “Marketing é dar satisfação ao cliente de forma lucrativa. A meta do Marketing é atrair novos clientes prometendo um valor superior, e manter os clientes atuais dando-lhes satisfação” (KOTLER, 1995, p. 3). Esta área lida com os clientes e cria valor e satisfação para o cliente (KOTLER, 1995, p. 3).



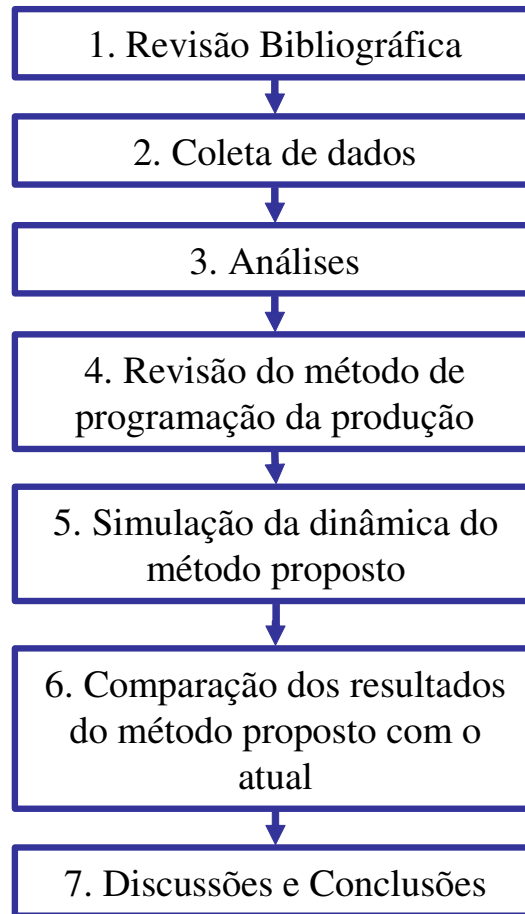
**Figura 7 - Organograma da *GE Plastics Latin America*.**

## 1.7 ESTRUTURA DO TRABALHO

Na introdução pretendeu-se caracterizar o problema através da definição do problema, da justificativa do problema, do escopo e da abordagem do trabalho, e considerações foram feitas a respeito da empresa, da área de estágio do autor e do organograma da empresa. Estas últimas considerações tiveram como objetivo contextualizar o leitor ao ambiente de desenvolvimento do trabalho e demonstrar que o objetivo do trabalho está alinhado com a estratégia competitiva genérica da empresa.

A partir deste ponto o trabalho está estruturado da seguinte forma, conforme o esquema na Figura 8:

1. O capítulo 2 traz uma revisão da bibliografia existente a respeito de teste de hipóteses que será aplicado na análise das variáveis que afetam a efetividade da amostra. Neste mesmo capítulo, discutem-se as regras mais comuns de seqüenciamento da produção, comparando-se suas performances através de exemplos simples que simulam seus resultados. O objetivo é levantar qual é a regra adequada para a programação do laboratório. Para finalizar, considerações são feitas a respeito do sistema de controle de operações (*shop floor control*) visando estruturar o controle de operações do laboratório após a implementação do método revisado de programação da produção.
2. A seguir, coleta-se dados para as análises.
3. Em seguida, os dados são organizados em tabelas de contingência para a realização do teste de hipótese chamado teste de independência. Ao final desta análise pretende-se separar as variáveis significativas para a efetividade da amostra.
4. No passo seguinte o método de programação da produção no laboratório é revisado. O fluxo do processo é discutido e analisado criticamente. Com base nesta análise crítica, uma melhoria no processo é proposto e discutido a fim de estabelecer uma nova regra de seqüenciamento.
5. A seguir, a dinâmica do método proposto é simulado de forma analítica usando dados históricos de natureza determinística, não estocástica.
6. Os resultados serão comparados com base nos critérios encontrados na literatura.
7. Finalmente os resultados e conclusões do presente trabalho são discutidos.



**Figura 8 - Estrutura do trabalho.**

## 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

A revisão bibliográfica visa dar sustentação conceptual ao trabalho. As soluções propostas se fundamentam no conhecimento adquirido a partir da revisão da bibliografia especializada no assunto. Os temas “teste de hipóteses” no campo da estatística e “seqüenciamento de operações” e “sistema de controle de operações” no campo da programação da produção apresentam uma bibliografia bastante rica. Alguns dos principais autores que tratam destes temas foram pesquisados e citados no presente trabalho.

### 2.1 TESTE DE HIPÓTESES

O teste de hipóteses faz-se interessante para o trabalho por se tratar de um procedimento de tomada de decisão. Eles são utilizados objetivando por exemplo verificar se médias de populações distintas são iguais, ou ainda verificar se variâncias ou proporções são iguais. Trata-se de uma forma de estimação com base em amostras bastante utilizada.

Em um teste de hipóteses supõe-se que exista uma hipótese, a qual será considerada válida até prova em contrário, e essa hipótese será testada com base em resultados amostrais. Montgomery (2002) reforça que as hipóteses se referem à população ou à distribuição e não à amostra.

Alguns conceitos fundamentais devem ser elucidados a respeito de testes de hipóteses antes de se prosseguir com o estudo. Designa-se  $H_0$  a hipótese existente, também chamada de hipótese nula (*null hypothesis*). Esta é a hipótese que se deseja testar. A hipótese complementar é chamada de hipótese alternativa (*alternative hypothesis*) e é representada por  $H_a$ .

Montgomery (2002) enfatiza que não é possível saber com certeza se a hipótese testada é verdadeira ou não a menos que a população inteira seja considerada. “Portanto, o procedimento de teste de hipóteses deve ser desenvolvido tendo-se em mente a probabilidade de se chegar a uma conclusão errada” (MONTGOMERY, 2002, p. 279, tradução nossa). Cabe então mais dois conceitos, o erro tipo I e o erro tipo II. O erro tipo I é rejeitar a hipótese nula  $H_0$  quando ela é verdadeira. O erro tipo II por sua vez é aceitar a hipótese nula  $H_0$  quando ela é falsa. As probabilidades destes dois erros são designadas, respectivamente, por  $\alpha$  e  $\beta$  e a probabilidade  $\alpha$  é ainda denominada nível de significância do teste. Como mostra a Tabela 1, essas probabilidades são condicionadas à realidade, ou seja, elas têm significado dependendo

da realidade, cujos cenários são indicados na segunda linha da Tabela 1. “Fica também claro, da Tabela 1, que o erro tipo I só poderá ser cometido se  $H_0$  for verdadeira, e o erro tipo II, se  $H_0$  for falsa. Da mesma forma, o erro tipo I só poderá ser cometido se se rejeitar  $H_0$ , e o erro tipo II, se se aceitar  $H_0$ ” (COSTA NETO, 1977, p. 86).

**Tabela 1 - Possíveis resultados de um teste de hipóteses e suas probabilidades condicionadas à realidade.**

		Realidade	
		$H_0$ verdadeira	$H_0$ falsa
<b>Decisão</b>	Aceitar $H_0$	Decisão correta ( $1 - \alpha$ )	Erro tipo II ( $\beta$ )
	Rejeitar $H_0$	Erro tipo I ( $\alpha$ )	Decisão correta ( $1 - \beta$ )

Quanto menor o nível de significância  $\alpha$  mais conservador será o teste em aceitar  $H_0$ . Ou seja, o valor experimental da amostra será tanto mais convincente em rejeitar a hipótese  $H_0$  quanto menor for o nível de significância  $\alpha$ . O valor experimental que rejeita  $H_0$  com um nível de significância  $\alpha$  igual a 1% é mais convincente que o valor experimental que rejeita  $H_0$  com  $\alpha$  igual a 5%. “Deve-se notar que  $\alpha$  não é a probabilidade de erro ao se rejeitar  $H_0$ ” (COSTA NETO, 1977, p. 88).

Costa Neto (1977, p. 88) salienta que a gravidade relativa de cada tipo de erro depende do problema real existente. A literatura usualmente adota 5% como valor padrão do nível de significância  $\alpha$ .

### **Tabelas de Contingência - Teste de Independência**

Dentro do universo de testes de hipóteses, há um grupo específico de testes chamados testes não-paramétricos. Um teste é dito não-paramétrico quando suas hipóteses não se referem a um parâmetro populacional<sup>7</sup> (COSTA NETO, 1977, p. 131). Dentre os testes não-paramétricos encontramos testes de aderência, tabelas de contingências ou teste de independência, teste de sinais, teste da mediana, teste de seqüências e teste de Wilcoxon-Mann-Whitney. Os testes de aderência testam a hipótese referente à forma da distribuição da população (COSTA NETO, 1977, p. 131). Os quatro últimos testes têm como objetivo comparar duas populações e apresentam a peculiaridade de serem realizados de forma independente da forma da distribuição da população (COSTA NETO, 1977, p. 141).

<sup>7</sup> A média  $\mu$  e a variância  $\sigma^2$  são parâmetros populacionais de uma distribuição normal.

As tabelas de contingência são interessantes para o trabalho por ser necessário verificar se os critérios de classificação de duas ou mais variáveis qualitativas de interesse são estatisticamente independentes. A representação tabular das frequências observadas é chamada de tabela de contingência (*contingency table*) e é normalmente representada como mostra a Tabela 2, segundo Montgomery (2002). As frequências observadas de índice  $i$  para a primeira classificação e índice  $j$  para a segunda classificação são representadas como  $O_{ij}$ . Com a tabela de contingência, consegue-se “uma maneira conveniente de fazer a descrição dos dados da amostra quando temos duas ou mais variáveis qualitativas a considerar” (COSTA NETO, 1977, p. 137, grifo nosso).

**Tabela 2 - Tabela de contingência L por C.**

		<b>Colunas</b>			
		1	2	...	C
<b>Linhas</b>	1	$O_{11}$	$O_{12}$	...	$O_{1C}$
	2	$O_{21}$	$O_{22}$	...	$O_{2C}$
	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
	L	$O_{L1}$	$O_{L2}$	...	$O_{LC}$

O objetivo do uso de uma Tabela de contingência é testar a hipótese de que os métodos de classificação das linhas e das colunas são independentes. Se esta hipótese é rejeitada, conclui-se que há alguma interação entre os dois critérios de classificação (MONTGOMERY, 2002, p. 320, tradução nossa).

Portanto, as hipóteses testadas podem ser assim definidas (COSTA NETO, 1977, p. 137):

- $H_0$ : as variáveis são independentes;
- $H_a$ : as variáveis não são independentes, ou seja, elas apresentam algum grau de associação entre si.

A estatística utilizada neste teste é o  $\chi_v^2$  calculada conforme a Equação 1 (COSTA NETO, 1977, p. 138).

$$\chi_v^2 = \sum_{i=1}^r \sum_{j=1}^s \frac{(O_{ij} - E_{ij})^2}{E_{ij}},$$

**Equação 1 - Estatística  $\chi_v^2$**

Onde

$\chi^2_v$  é a estatística de teste, com  $v$  graus de liberdade. A estatística  $\chi^2_v$  é também representada por Chi-Sq (do inglês *Chi-Square*) e os graus de liberdade são representados por DF (do inglês *Degrees of Freedom*);

$r$  é o número de linhas do corpo da tabela;

$s$  é o número de colunas do corpo da tabela;

$O_{ij}$  é a frequência observada na intersecção da linha  $i$  com a coluna  $j$ ;

$E_{ij}$  é a frequência esperada na intersecção da linha  $i$  com a coluna  $j$ ;

$n$  é o número de elementos da amostra.

Segundo Costa Neto (1977) se o modelo testado for verdadeiro e se todas as frequências esperadas forem maiores ou iguais a 5, a estatística  $\chi^2_v$  terá aproximadamente a distribuição  $\chi^2$  com os devidos graus de liberdade. Esta condição referente às frequências esperadas é necessária para a aproximação da distribuição binomial pela distribuição normal.

A regra prática para o cálculo das frequências esperadas é representada na Equação 2 (COSTA NETO, 1977, p. 138).

$$E_{ij} = \frac{(total\_da\_linha\_i * total\_da\_coluna\_j)}{total\_de\_observações}$$

**Equação 2 - Regra prática para o cálculo das frequências esperadas**

A Tabela 3 representa em uma forma tabular o cálculo prático das frequências esperadas  $E_{ij}$ .

**Tabela 3 - Cálculo prático das frequências esperadas  $E_{ij}$**

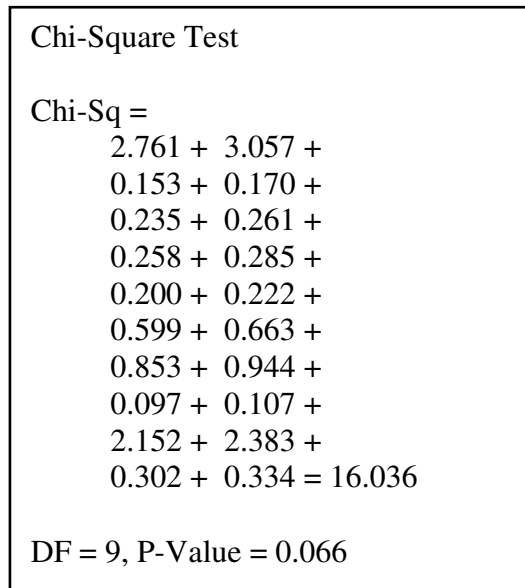
					Colunas
1	2	...	C	Total das linhas	

<b>Linhas</b>	1	$E_{11} = (L1 * C1) / T$	$E_{12} = (L1 * C2) / T$	...	$E_{1C} = (L1 * CC) / T$	L1
	2	$E_{21} = (L2 * C1) / T$	$E_{22} = (L2 * C2) / T$	...	$E_{2C} = (L2 * CC) / T$	L2
	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
	L	$E_{L1} = (LL * C1) / T$	$E_{L2} = (LL * C2) / T$	...	$E_{LC} = (LL * CC) / T$	LL
	Total das colunas	C1	C2	C3	CC	Total de observações (T)

A Tabela 4 mostra em forma tabular como a estatística  $\chi_v^2$  é calculada. A ferramenta utilizada na realização do teste é o *software* MINITAB, versão 14, disponibilizada pela empresa. Esta ferramenta gera como relatório a Figura 9. Cada uma das linhas que compõem o cálculo da estatística  $\chi_v^2$ , representada no programa como Chi-Sq, traz a parcela da estatística de cada linha da Tabela 4. O número de parcelas de cada linha é igual ao número de colunas. O teste que resultou no relatório apresentado na Figura 9 tem em sua tabela de contingência duas colunas. Ao final traz-se o valor da estatística, que no caso da Figura 9 é igual a 16,036.

**Tabela 4 - Cálculo da estatística  $\chi_v^2$**

		Colunas			
		1	2	...	C
<b>Linhas</b>	1	$(O_{11} - E_{11})^2 / E_{11}$	$(O_{12} - E_{12})^2 / E_{12}$	...	$(O_{1C} - E_{1C})^2 / E_{1C}$
	2	$(O_{21} - E_{21})^2 / E_{21}$	$(O_{22} - E_{22})^2 / E_{22}$	...	$(O_{2C} - E_{2C})^2 / E_{2C}$
	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
	L	$(O_{L1} - E_{L1})^2 / E_{L1}$	$(O_{L2} - E_{L2})^2 / E_{L2}$	...	$(O_{LC} - E_{LC})^2 / E_{LC}$



**Figura 9 - Relatório gerado pelo software MINITAB**

A comparação dos valores das parcelas das linhas da Figura 9 indicam quais delas apresentam um comportamento distinto do das outras porque se os valores observados são próximos dos valores esperados, o valor qui-quadrado é baixo (Equação 1).

Quanto ao número de graus de liberdade com que a variável de teste deverá ser testada, Costa Neto (1977, p. 138) afirma que “sua determinação pode ser feita verificando-se quantas das freqüências observadas  $O_{ij}$  permanecem ‘livres’ após a determinação das freqüências esperadas” (COSTA NETO, 1977, p. 138). Estas freqüências foram determinadas com base nos totais marginais e, portanto o número de freqüências observadas com grau de liberdade é calculado conforme a Equação 3, pois “fatalmente a última freqüência observada a ser considerada em cada linha ou coluna estará determinada pelo total fixado da linha ou coluna, o que equivale a ter-se uma linha e uma coluna sem graus de liberdade” (COSTA NETO, 1977, p. 138). Na Equação 3, o número de graus de liberdade é representado pela letra grega  $\nu$ .

$$\nu = (r - 1)(s - 1)$$

**Equação 3 – Cálculo dos graus de liberdade**

Os graus de liberdade, representados na Figura 10 pela letra  $k$ , determinam o formato da Função Densidade de Probabilidade da distribuição Qui-Quadrado.

A estatística  $\chi_v^2$  é a estatística utilizada para testar a hipótese de que as variáveis posicionadas nas linhas da tabela de contingência são independentes entre si (hipótese  $H_0$ ). A estatística  $\chi_v^2$  é calculada comparando-se as frequências observadas e as frequências esperadas. Em seguida, o grau de liberdade é calculado para determinar o formato da Função Densidade de Probabilidade da distribuição Qui-Quadrado. O valor encontrado da estatística  $\chi_v^2$  é confrontado na curva da função densidade. Neste momento, o teste que se faz é verificar qual a probabilidade da estatística encontrada pertencer à curva.

É no eixo das abscissas da Figura 10 que se buscam os valores da estatística  $\chi_v^2$ , e a área compreendida entre a curva e o eixo x, do valor da estatística  $\chi_v^2$  até o mais infinito ( $+\infty$ ) é a probabilidade da estatística encontrada pertencer à curva, e é chamada de Valor-P (*P-Value*). Para um valor idêntico de graus de liberdade, quanto maior a estatística  $\chi_v^2$  menor o Valor-P.

Se esta probabilidade (ou *P-Value*) for menor do que o nível de significância, que neste contexto pode ser interpretada como a probabilidade mínima necessária para provar que a estatística pertence à curva, não se aceita que a estatística pertença à curva e, sendo assim, os dados utilizados para o seu cálculo não podem ser considerados independentes. Em outras palavras, se o *P-Value* é menor que o nível de significância  $\alpha$ , rejeita-se  $H_0$  e se aceita  $H_a$  do teste de hipóteses.

Todo este processo descrito se trata de um método de verificação indireto.

Uma outra forma de se chegar à mesma conclusão é pensar na área igual ao nível de significância como região crítica do teste (COSTA NETO, 1977, p. 86). Na Figura 10, a região crítica é a área compreendida entre a curva e o eixo x, do valor crítico<sup>8</sup> até o mais infinito ( $+\infty$ ). Se o valor da estatística cair na região crítica, ou seja, se o valor da estatística for maior do que o valor crítico, interpreta-se que há pouca significância para concluir que a estatística pertença à curva em questão. Neste caso, o resultado do teste de hipóteses é rejeitar  $H_0$ .

Em resumo, se o valor da estatística  $\chi_v^2$  for maior do que o valor crítico para os graus de liberdade dados, rejeita-se  $H_0$  e conclui-se que as variáveis não são independentes. Ou, se o *P-Value* da estatística  $\chi_v^2$  for menor do que o nível de significância  $\alpha$ , rejeita-se  $H_0$ .

---

<sup>8</sup> Para grau de liberdade igual a 1 e nível de significância igual a 5% o valor crítico é igual a 3,84.

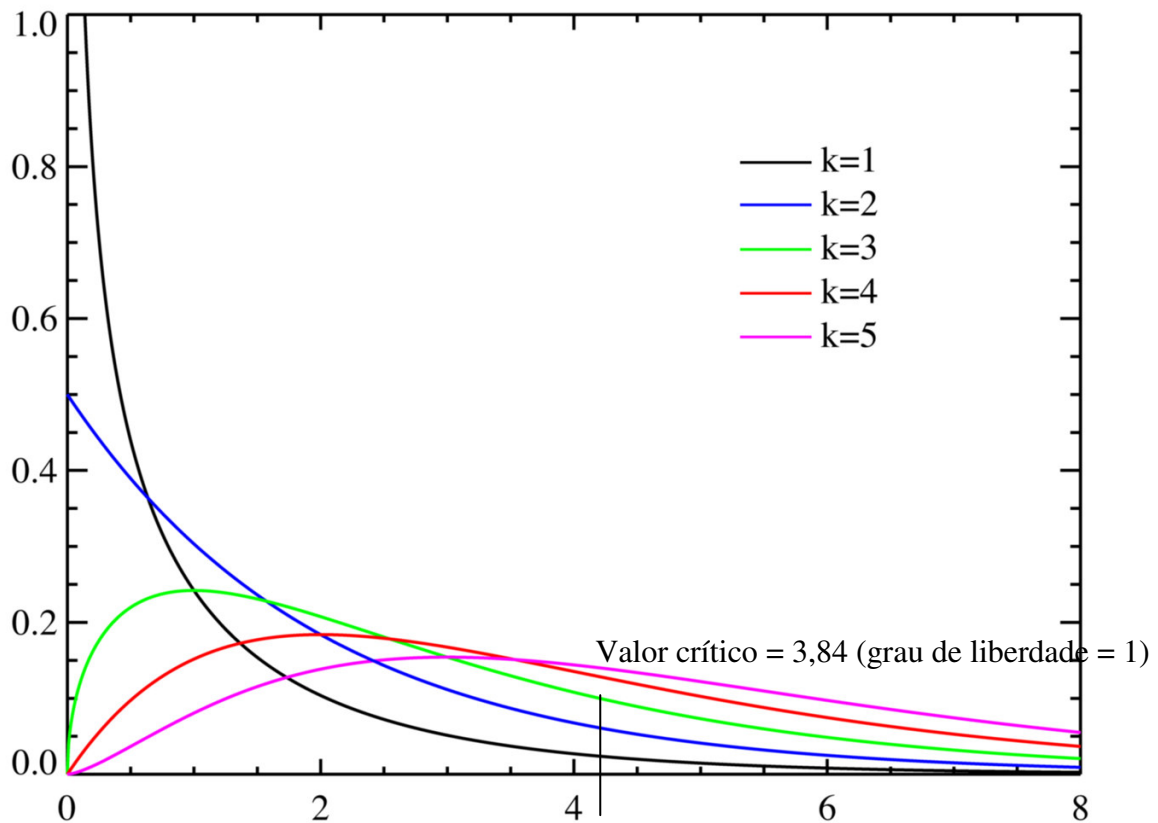


Figura 10 - Função densidade de probabilidade da distribuição Qui-Quadrado

## 2.2 SEQÜENCIAMENTO DE OPERAÇÕES

Um dos objetivos do presente trabalho é minimizar o atraso médio e o e o máximo atraso de entrega das amostras visando reduzir os atrasos de recebimento das amostras sentidos pelo cliente final. A proposta do trabalho é desenvolver uma solução que consiste em uma melhoria do método atual de seqüenciamento de operações aplicado no laboratório. Faz-se portanto necessário conhecer os principais tipos de regras de seqüenciamento que a literatura recomenda.

Seqüenciamento é “o processo para determinar qual tarefa / atividade<sup>9</sup> deve começar primeiro em algum centro de trabalho” (Chase et al. 2006, p.593). Trata-se de priorização de atividades que segundo Slack et al. (2002, p. 325) são frequentemente estabelecidas por um conjunto predefinido de regras.

Nahmias (1997) faz uma importante observação a respeito destas regras.

<sup>9</sup> Os termos “tarefa” e “atividade” serão utilizados no lugar do termo “job” encontrado na literatura.

“A escolha do objetivo (do Gerenciamento do Chão de Fábrica – *Job Shop Management*) irá determinar o quão adequada e efetiva a regra de seqüenciamento é. É comum que haja mais de um objetivo importante, logo seria quase impossível determinar uma única regra ótima. Por exemplo, alguém poderia desejar minimizar o tempo necessário para completar todas as atividades, mas também poderia desejar limitar o máximo atraso de qualquer atividade” (NAHMIAS, 1997, p. 401)

As regras de priorização mais utilizadas são *First In First Out* (FIFO), *Shortest Processing Time* (SPT), *Earliest Due Date* (EDD) e *Critical Ratio* (CR), as quais são descritas a seguir.

- **FIFO**

FIFO significa que a primeira atividade que entra no sistema será a primeira a sair. Alguns autores utilizam o termo *First Come First Served* (FCFS), ou seja, primeiro a entrar, primeiro a ser servido. Serviços costumam utilizar esta regra que está relacionada com senso de justiça (*sense of fairness*) como em um banco onde as pessoas em uma fila dificilmente aceitariam outra regra que não FIFO (Markland et al. 1995, p. 609).

- **SPT**

A regra SPT prioriza a tarefa cujo tempo total de produção é o mais curto. Também é encontrada na literatura o termo *Shortest Operating Time* (SOT) que significa menor tempo de execução ou de processamento. Esta regra deve ser acompanhada por alguma regra de atraso para que nenhuma tarefa fique para trás.

Segundo Chase et al. (2006), a regra **SPT** proporciona melhores resultados quando são avaliados com base nos critérios tempo total de conclusão, média de tempo de conclusão, média de atraso e média de tempo de espera.

- **EDD**

Esta regra consiste em executar primeiro a tarefa com a data de entrega mais próxima. Esta regra é chamada ainda de Data Prometida ou *Due Date* (DDATE).

“Priorizar pela data prometida significa que o trabalho é seqüenciado de acordo com a data prometida de entrega” (SLACK et al., 2002, p. 326). Slack et al. (2002) fazem duas

observações importantes a respeito desta regra. Ela “usualmente melhora a confiabilidade de entrega de uma operação e a média de rapidez de entrega” (SLACK et al., 2002, p. 326). Por outro lado, “(...) pode não proporcionar uma produtividade ótima como um seqüenciamento do trabalho que visa especificamente à eficiência, que pode reduzir os custos totais” (SLACK et al., 2002, p. 326).

Markland et al. (1995) observam que cada ordem acaba se tornando aquela mais próxima da data prometida e portanto tarefas difíceis não serão ignoradas como pode ocorrer no caso da regra SPT. Além disso, seguir esta regra “(...) também leva a uma melhor performance total quando o objetivo é minimizar o máximo atraso das atividades do sistema” (MARKLAND et al., 1995, p. 610). Ainda segundo os autores, um corolário do EDD é que esta regra é melhor do que as outras em minimizar a variabilidade do atraso, inclusive em situações dinâmicas em que novas atividades estão constantemente chegando à linha.

- **CR**

CR ou razão crítica é a diferença entre a data de entrega e a data atual dividida pelo tempo de processamento. A idéia por detrás desta razão, segundo Nahmias (1997, p. 406), é balancear o SPT, que considera somente o tempo de processamento, e o EDD, que considera somente a data requerida (*due date*). As ordens com a menor CR são priorizadas assim as atividades que se aproximam da data requerida e as atividades cujo tempo de processamento é longo são priorizadas.

É possível que o numerador se torne negativo e isso significa que a atividade está atrasada. Se houver apenas uma tarefa atrasada, esta será priorizada. Caso haja mais de uma tarefa atrasada, deve-se aplicar a regra SPT.

Além destas regras mais comuns encontradas em obras de diversos autores, Slack et. al (2002) listam uma regra que eles denominam “**Prioridade ao consumidor**”. Segundo eles, “as operações algumas vezes permitem que um consumidor importante, ou temporariamente ofendido, ou um item, sejam ‘processados’, antes de outros, independentemente da ordem de chegada do consumidor ou do item”. Este tipo particular de regra deve ser adaptado ao tipo de negócio, ao contexto da empresa. Em bancos alguns clientes mais importantes são priorizados. Pequenas empresas dão prioridade a seus clientes de maior porte e serviços de emergência como a polícia ou os bombeiros possuem regras adaptadas às suas realidades

bastante particulares. A *GE Plastics* no ano de 2006 vem enfatizando a necessidade de aumentar as vendas de seus produtos diferenciados. Trata-se de produtos com atributos diferenciados sem similares entre os produtos dos concorrentes. A regra que prioriza este item está, portanto totalmente de acordo com o contexto da *GE Plastics*.

Markland et al. (1995) citam ainda uma outra regra que foca em custo total de *setup* (*changeover cost*) que pode ser interessante em algumas situações.

Os resultados das diversas regras são comparadas com base em alguns critérios. Os critérios propostos por Nahmias (1997) são:

- Tempo total de conclusão
- Tempo médio de fluxo (*Mean flow time*) ou Média de tempo de conclusão = (Tempo Total de Conclusão) / Número de atividades seqüenciadas
- Média de atraso (*Average tardiness*)
- Número de atividades atrasadas (*Number of tardy jobs*)

Nahmias (1997) apresenta em sua obra um exemplo simples que compara as quatro regras principais, FCFS, SPT, EDD e CR. Este exemplo é apresentado no ANEXO A – EXEMPLOS DE COMPARAÇÃO DE REGRAS DE SEQÜENCIAMENTO como Exemplo 1. Os resultados dessa comparação, adaptados da obra de Nahmias (1997), são apresentados na Tabela 5.

**Tabela 5 - Comparação dos resultados das regras de seqüenciamento.**

<b>Regra</b>	<b>Tempo médio de fluxo</b>	<b>Média de atraso</b>	<b>Número de atividades atrasadas</b>
FCFS	53,6	24,2	3
SPT	27,0	8,6	1
EDD	47,0	6,6	4
CR	57,8	17,4	4

Nota-se que a regra EDD resulta em uma média de atraso menor. Este exemplo diverge da afirmação de Chase et al. (2006) de que a regra SPT seria aquela que traz melhores resultados no critério média de atraso, muito embora a diferença seja pequena.

Antes de apresentar as regras de seqüenciamento em sua obra, Slack et al. (2002, p. 329) definem objetivos da programação da produção, sendo estes:

- Atender à data prometida ao consumidor (confiabilidade);
- Minimizar o tempo de processo, também conhecido como tempo de fluxo (rapidez);
- Minimizar o estoque em processo (um elemento de custo);
- Minimizar o tempo ocioso dos centros de trabalho (outro elemento de custo).

Da mesma forma que Nahmias (1997, p. 408), Slack et al. (2002) mostram com um exemplo o desempenho das “regras de decisão de seqüenciamento”. Este exemplo é o Exemplo 2 do ANEXO A – EXEMPLOS DE COMPARAÇÃO DE REGRAS DE SEQÜENCIAMENTO.

Neste caso, a regra SPT foi a melhor alternativa conforme se verifica na Tabela 6, adaptada da obra de Slack et al. (2002), comparando-se os valores de tempo médio de processo e atraso médio das diferentes regras.

**Tabela 6 - Resumo dos resultados de regras de seqüenciamento.**

<b>Regra</b>	<b>Tempo médio de processo</b>	<b>Atraso médio</b>
Fifo	12	6,4
Data prometida (EDD)	8,4	3,2
Operação mais curta (SPT)	7,6	3,2

Markland et al. (1995, p. 612) seguem a mesma linha dos autores anteriores, avaliando as regras com um exemplo simples. Estes autores comparam os resultados das regras de seqüenciamento com base nos critérios de avaliação tempo médio de fluxo (*average flow time*), número médio de atividades no sistema (*average number of jobs in system*), atraso médio (*average lateness*), e máximo atraso (*maximum lateness*), conforme mostra a Tabela 7, adaptada obra de Markland et al. (1995).

**Tabela 7 - Resumo dos resultados de regras de seqüenciamento.**

<b>Regra</b>	<b>Tempo médio de processo</b>	<b>Número médio de atividades no sistema</b>	<b>Atraso médio</b>	<b>Máximo atraso</b>
FCFS	24,2	2,81	6,8	33
SPT	21,4	2,49	2,0	7
EDD	22,6	2,63	2,4	7
CR	25,4	2,95	5,4	23

A abordagem de Markland et al. (1995) é particularmente interessante para o presente trabalho, pois acrescenta o critério máximo atraso, não contemplado nas comparações apresentadas pela Tabela 5 e pela Tabela 6. Novamente as regras SPT e EDD despontam como as melhores alternativas de regra de seqüenciamento conforme pode ser verificado ao se comparar os resultados de uma mesma coluna para as diferentes linhas da Tabela 7.

Os mesmos autores fazem uma ressalva importante. Até este ponto, considerou-se um conjunto estático de atividades a serem seqüenciadas, sem a chegada de novas atividades. Este dinamismo pode levar à necessidade de seqüenciar a lista a cada nova chegada. Segundo eles, “manter seqüências acuradas em um ambiente dinâmico requer significativos recursos computacionais, mesmo para regras simples de despacho” (MARKLAND et al., 1995, p. 614). Para os autores, “estes problemas estáticos (...) provêm idéias, sugestões de fatores que o pesquisadores deveriam pensar no desenvolvimento de heurísticas para sistemas de seqüenciamento complexos” (MARKLAND et al., 1995, p. 614).

### **2.3 SISTEMA DE CONTROLE DE OPERAÇÕES (*SHOP FLOOR CONTROL*)**

Um sistema de controle de operações (*shop floor control*, ou SFC), num contexto fabril é definido como “um sistema que se utiliza de dados do chão de fábrica para manter e comunicar informações de situação corrente sobre ordens de fabricação e centros de trabalho” (COX III; BALCKSTONE, 1998, apud CORREA; CORREA, 2006, p. 586). As principais sub-funções de um sistema SFC são:

- Definir prioridades para cada ordem de produção;
- Manter informação sobre quantidades de estoque em processo;
- Comunicar situação corrente de ordens de produção para a gestão;
- Prover dados sobre saídas efetivas para suportar atividades de controle de capacidade produtiva;
- Prover informações de quantidade por local de produção para efeito de controle de estoque em processo (operacional e contabilmente) e;
- Prover mensuração de eficiência, utilização e produtividade de força de trabalho e dos equipamentos.

Os métodos mais simples utilizados para controle de operação são aqueles baseados em gráficos de *Gantt* (CORREA; CORREA, 2006) e os princípios básicos a serem seguidos no seqüenciamento e na programação de centros de trabalho são (CHASE et al., 2004 apud CORREA; CORREA, 2006):

1. Há relação direta entre fluxo de produção e fluxo de caixa: fluxos mais rápidos melhoram o fluxo de caixa
2. A eficácia de qualquer sistema de seqüenciamento e programação deveria ser medida predominantemente pela velocidade dos fluxos através da unidade produtiva;
3. Uma vez iniciada, uma tarefa não deveria ser interrompida;
4. A velocidade de fluxos é aumentada se a ênfase da gestão for em centros de trabalho gargalos;
5. Reprogramar o mais freqüentemente possível;
6. Obter realimentação da situação das tarefas nos centros de trabalho o mais freqüentemente possível, cuidando da qualidade dessa informação – a automação do processo de coleta de dados pode auxiliar;
7. Alocar volumes de entrada para os centros de trabalho, baseado no que o centro de fato consegue processar;
8. Conseguir precisão absoluta de informações e parâmetros de fábrica, como *lead times*, roteiros, tempo-padrão, etc., é impossível, mas precisão absoluta deve sempre ser enxergada como meta;
9. Usar dados históricos da realidade para corrigir freqüentemente os parâmetros de *lead times*, tempos-padrão, capacidade efetiva dos centros produtivos, entre outros.

### 3 ANÁLISE

Conforme antecipado no Capítulo 1, a baixa efetividade da amostra prejudica o tempo de ciclo de fornecimento de amostras porque freqüentemente tempo é gasto na produção de amostras que acabam não sendo úteis à empresa por não gerarem vendas. Considera-se efetividade da amostra a correlação entre o envio da mesma e a obtenção do pedido de venda. Verifica-se na prática que a solicitação das amostras pelo cliente final ou pelo cliente interno muitas vezes não é criteriosa, levando a desperdícios e, portanto é fundamental realizar uma análise mais profunda sobre esse processo (seção 3.1).

Atrasos afetam o tempo de ciclo de entrega de amostras, atingindo diretamente o cliente e gerando eventual perda de negócios para a GE *Plastics*. No laboratório encontram-se fila de solicitações a serem produzidas e acúmulo de estoque de amostras produzidas no final da etapa de laboratório. Na seção 3.2, o método atual é analisado criteriosamente para se identificar oportunidades de melhoria no processo que minimizem os atrasos.

#### 3.1 ANÁLISE DA EFETIVIDADE DAS AMOSTRAS

Inicialmente, definiu-se baixa efetividade como problema a ser atacado ou efeito (SHIBA et al., 1997). A seguir, buscou-se levantar as variáveis ou causas do efeito porque “para resolver um problema, é importante conhecer as causas reais e suas inter-relações” (SHIBA et al., 1997, p. 79). O diagrama de causa-e-efeito foi utilizado, pois direciona a coleta e análise de dados para descobrir a causa básica de um problema. Dentre as causas levantadas pelo diagrama, três principais variáveis foram priorizadas a partir de um levantamento preliminar da influência das mesmas no percentual de venda, o Cliente, a Família de produtos e o Solicitante da amostra.

As análises foram estruturadas da seguinte forma.

1. Para cada amostra solicitada, identificou-se o cliente, o produto, o solicitante e a data de expedição da amostra.
2. Foi verificado se houve ou não, posteriormente, alguma venda relacionada a cada amostra. Para esta verificação, levou-se em consideração um intervalo de tempo mínimo de seis meses a partir da data de expedição da amostra. Este intervalo de tempo representa o tempo que o cliente usualmente leva para finalizar o desenvolvimento de seu produto e iniciar sua produção em série, sendo este o instante

em que, eventualmente, o cliente começaria a colocar pedidos de compra dos produtos da *GE Plastics*.

3. Neste contexto, define-se:
  - a. Defeito: A amostra produzida não gerou nenhuma ordem de venda em seis meses.
  - b. Não defeito: A amostra produzida gerou pelo menos uma ordem de venda em seis meses.
4. Para cada uma das variáveis qualitativas levantadas anteriormente é criada a tabela de contingência nos moldes da Tabela 8. As variáveis são:
  - a. Interação cliente e família de produto (seção 3.1.1);
  - b. Cliente (seção 3.1.2);
  - c. Família de produto (seção 3.1.3) e;
  - d. Solicitante (seção 3.1.4).

**Tabela 8 - Tabela de contingência genérica**

	Classificação	N.º de Defeitos	N.º de Não Defeitos
<b>Variáveis qualitativas</b>	Classificação 1	$O_{11}$	$O_{12}$
	Classificação 2	$O_{21}$	$O_{22}$
	⋮	⋮	⋮
	Classificação L	$O_{L1}$	$O_{L2}$

5. Fazendo uso das Tabelas de contingência, as hipóteses testadas são:
  - a.  $H_0$ : O número de não defeitos é independente em relação às classificações da variável qualitativa.
  - b.  $H_a$ : O número de não defeitos não é independente em relação às classificações da variável qualitativa.
6. O nível de significância utilizado nos testes é o valor padrão encontrado na literatura de 5%. Acredita-se que um nível de significância inferior a este valor, 1% por exemplo, tornaria o teste muito conservador a ponto de ignorar sinais de que as classificações das variáveis não são independentes entre si. Portanto, no presente

trabalho considera-se 5% como um nível de significância adequado para as análises propostas.

### 3.1.1 Primeira análise: Cliente e Família de produto

Nesta primeira etapa analisa-se as interações entre cliente e família de produto. As suspeitas recaiam sobre a possibilidade de alguns clientes deterem competências sobre determinadas família de produtos e esta competência ter correlação direta com o sucesso no desenvolvimento de novas aplicações. Sendo assim, nestes casos as amostras deveriam ser priorizadas.

Atualmente a GE *Plastics Latin America* conta com um portfólio de mais de 380 produtos termoplásticos produzidos em sua planta local. Estes produtos podem ser agrupados em 9 famílias segundo suas similaridades químicas conforme indica a Tabela 9.

**Tabela 9 – Relação das Famílias de produtos.**

<b>Código</b>	<b>Família de Produto</b>
1	Resina ABS
2	Resina PC/ABS
3	Resina ASA
4	Resina ASA modificada
5	Resina PC
6	Resina PPO modificada
7	Resina PBT
8	Resina PC/PBT
9	Compostos Termoplásticos

Levantou-se a partir de dados histórico de agosto de 2004 a fevereiro de 2006, 724 amostras (SAL e SDC) que foram entregues aos clientes finais. Foram desconsideradas as amostras produzidas para clientes internos como o Controle de Qualidade (*Quality Analysis*, QA). Deste total, todas as combinações possíveis de Cliente e Família de produto foram levantadas. Entretanto, verificou-se que poucas interações tiveram um número suficiente de repetições que permitissem a aplicação do teste de hipóteses. Estas interações são agrupadas na Tabela de contingência da Tabela 10. Além das frequências observadas, os valores das frequências esperadas estão entre parênteses, ao lado dos respectivos valores da frequência observada, lembrando que a frequência esperada é igual ao produto do total da linha e da coluna dividido pelo total de observações. O teste foi aplicado com uso do *software* MINITAB e o resultado do teste pode ser verificado no relatório da Figura 11.

Tabela 10 - Tabela de contingência para Cliente e Família de produto.

	Classificação		Nº de Defeitos	Nº de Não Defeitos
	Cliente	Família de produto		
<b>Interação Cliente - Família</b>	1	2	10 (17)	22 (15)
	2	5	14 (13)	10 (11)
	3	2	7 (8)	9 (8)
	4	1	7 (6)	4 (5)
	4	2	8 (7)	5 (6)
	5	1	8 (11)	12 (9)
	6	1	8 (6)	3 (5)
	7	1	9 (10)	10 (9)
	8	5	12 (8)	3 (7)
	9	5	10 (8)	6 (8)

Chi-Square Test
Chi-Sq =
2.761 + 3.057 +
0.153 + 0.170 +
0.235 + 0.261 +
0.258 + 0.285 +
0.200 + 0.222 +
0.599 + 0.663 +
0.853 + 0.944 +
0.097 + 0.107 +
2.152 + 2.383 +
0.302 + 0.334 = 16.036
DF = 9, P-Value = 0.066

Figura 11 - Relatório de resultados da análise da interação Cliente e Família de produto.

O relatório traz a memória de cálculo da estatística  $\chi_v^2$  representada como Chi-Sq. Cada uma das linhas do cálculo representam as parcelas  $\frac{(O_{ij} - E_{ij})^2}{E_{ij}}$  das colunas de cada classificação da variável em questão. Os valores 2,761 e 3,057, por exemplo, são as parcelas da estatística referentes ao número de defeitos e de não defeitos, respectivamente, da classificação da interação Cliente 1 e Família de produto 2.

O valor dos graus de liberdade é representado por DF e é calculado multiplicando-se o número de linhas menos 1 e o número de colunas menos 1. Neste caso, tem-se 10 linhas menos 1 multiplicado por 2 colunas menos 1 resultando em 9 graus de liberdade (ver seção

2.1). Com os dois parâmetros, estatística do teste e graus de liberdade, a ferramenta MINITAB calcula o *P-Value*. Sendo *P-Value* maior que o nível de significância de 5%, aceita-se  $H_0$ , ou seja, o número de defeitos é indiferente ao tipo de interação cliente e família de produtos.

Entretanto há duas interações que parecem ter grande influência sobre o valor da estatística. Estas interações são Cliente 1 e Família 2 e Cliente 8 e Família 5 e suas parcelas do cálculo da estatística são indicadas em negrito no relatório de resultado. Há uma grande chance de que estas interações possuam um comportamento particular.

Uma análise de sensibilidade foi realizada utilizando os dados da Tabela 11, sem os valores das interações citadas acima.

**Tabela 11 - Tabela de contingência para Análise de sensibilidade, Cliente e Família.**

	<b>Classificação</b>	<b>Nº de Defeitos</b>	<b>Nº de Não Defeitos</b>
	2	5	14 (13)
	3	2	7 (9)
	4	1	7 (6)
<b>Interação Cliente - Família</b>	4	2	8 (7)
	5	1	8 (11)
	6	1	8 (6)
	7	1	9 (10)
	9	5	10 (9)

O teste foi realizado novamente e o resultado segue representado na Figura 12.

Chi-Square Test
Chi-Sq =
0.061 + 0.073 +
0.346 + 0.416 +
0.164 + 0.197 +
0.114 + 0.137 +
0.782 + 0.941 +
0.661 + 0.795 +
0.183 + 0.220 +
0.182 + 0.219 = 5.492
DF = 7, P-Value = 0.600

**Figura 12 - Relatório de resultados da análise de sensibilidade da interação Cliente e Família.**

O *P-Value* passa de 0,066 para 0,600 e a estatística diminui de 16,036 para 5,492. Estas diferenças tanto no valor da estatística como no *P-Value* comprovam que o número de defeitos não é indiferente aos dois casos excluídos na análise de sensibilidade (Cliente 1 e Família 2 e Cliente 8 e Família 5).

Pode-se, portanto, concluir que as interações da Tabela 11 não explicam a efetividade da amostra em gerar ordem de vendas, ou seja, nas oito interações da Tabela 11 não há associação entre o Cliente e a Família de produto.

### 3.1.2 Segunda análise: Cliente

A partir de dados históricos de agosto de 2004 a maio de 2006, levantou-se um total de 183 clientes que solicitaram amostras. Os clientes foram classificados em ordem decrescente de frequência de solicitações de amostras e codificados por algarismos de 1 a 183. O gráfico da Figura 13 apresenta estes 183 clientes organizados em um diagrama de Pareto. Segundo Shiba et al. (1997), este diagrama ajuda a visualizar os poucos e vitais efeitos ou causas.

Na Figura 14, os clientes que mais solicitam amostras, responsáveis por 80% do total de solicitações no período considerado, são ordenados graficamente. Para esta análise, os 70 principais clientes serão considerados.

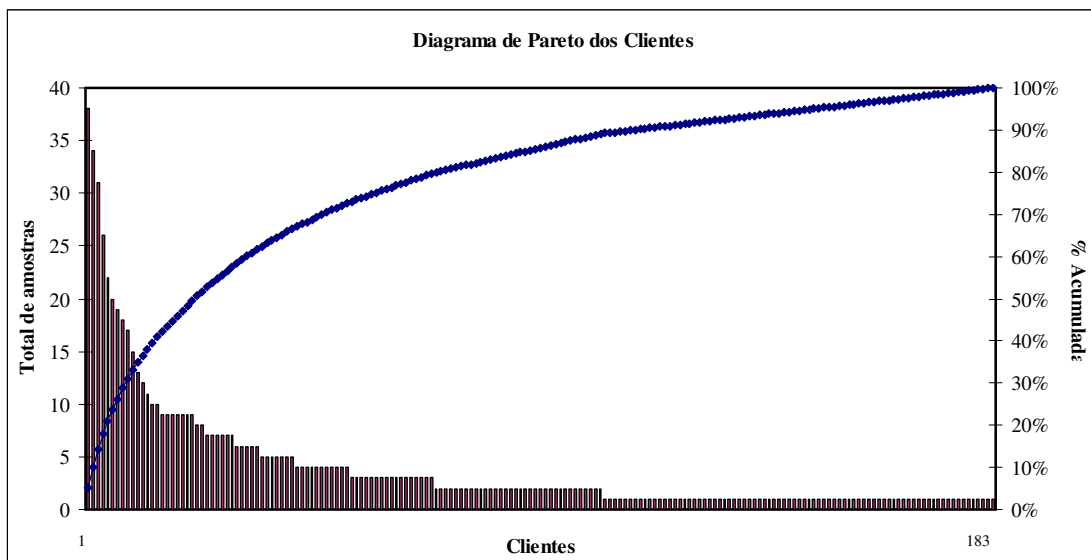
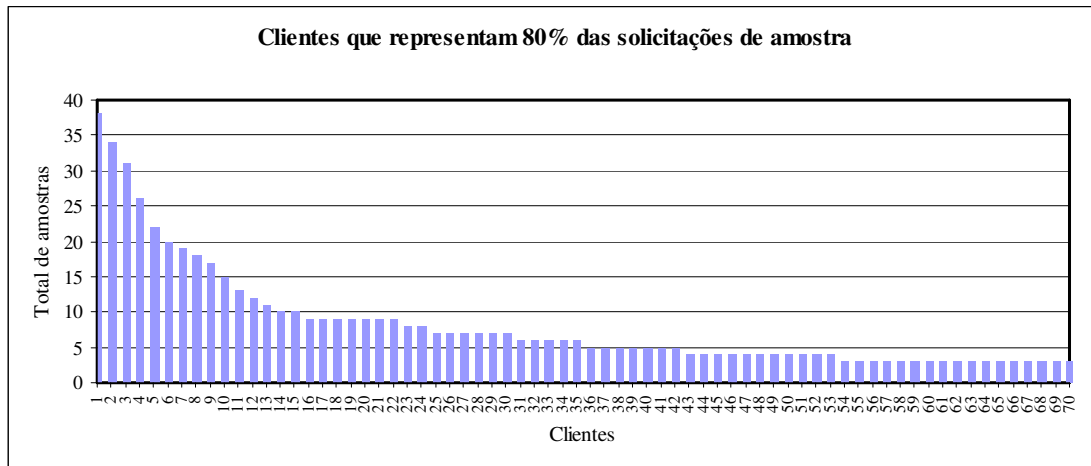


Figura 13 - Diagrama de Pareto da frequência de solicitações dos Clientes.



**Figura 14 – Principais Clientes que representam 80% do total de solicitações de amostra.**

Foram analisados inicialmente os 70 clientes que representam 80% do total de solicitações de amostra, porém o critério de frequência esperada maior que 5 antevisto na seção 2.1 não é respeitado para alguns clientes,. As linhas destes clientes que não satisfazem esta condição foram excluídas da tabela de contingência (Tabela 12), resultando numa relação de somente 11 clientes.

**Tabela 12 - Tabela de contingência para Clientes.**

	<b>Classificação</b>	<b>Nº de Defeitos</b>	<b>Nº de Não Defeitos</b>
<b>Cliente</b>	1	10 (20)	28 (18)
	2	18 (18)	16 (16)
	3	13 (17)	18 (14)
	4	17 (14)	9 (12)
	5	9 (12)	13 (10)
	6	16 (11)	4 (9)
	7	9 (10)	10 (9)
	8	15 (10)	3 (8)
	9	10 (9)	7 (8)
	10	11 (8)	4 (7)
	11	8 (7)	5 (6)

<p>Chi-Square Test</p> <p>Chi-Sq =</p> $5.322 + 6.187 +$ $0.004 + 0.005 +$ $0.806 + 0.936 +$ $0.654 + 0.760 +$ $0.675 + 0.785 +$ $2.563 + 2.979 +$ $0.144 + 0.168 +$ $2.930 + 3.405 +$ $0.081 + 0.094 +$ $1.070 + 1.243 +$ $0.147 + 0.170 = 31.129$ <p>DF = 10, P-Value = 0.001</p>
---

**Figura 15 - Relatório de resultados da análise dos Clientes 1 a 11.**

A Figura 15 apresenta o relatório de resultados e mostra que o *P-Value* é menor do que o nível de significância de 5%. Portanto, rejeita-se  $H_0$ , ou seja, há diferença entre clientes. Analisando mais a fundo o cálculo da estatística Chi-Sq, verifica-se que as parcelas referentes ao Cliente 1 tem grande influência no aumento de seu valor (5,322 e 6,187). Isto significa que as frequências observadas diferem das frequências esperadas. Segue-se para uma análise de sensibilidade para verificar a influência do Cliente 1. Nesta análise passa-se a considerar os clientes 2 a 11 e o resultado é apresentado no relatório da Figura 16. Com um cliente a menos, o teste passa a ter 9 graus de liberdade, representado por DF = 9 na Figura 16.

<p>Chi-Square Test</p> <p>Chi-Sq =</p> $0.186 + 0.263 +$ $1.470 + 2.081 +$ $0.204 + 0.289 +$ $1.175 + 1.664 +$ $1.562 + 2.212 +$ $0.409 + 0.579 +$ $1.878 + 2.659 +$ $0.000 + 0.000 +$ $0.555 + 0.786 +$ $0.019 + 0.027 = 18.020$ <p>DF = 9, P-Value = 0.035</p>
--

**Figura 16 - Relatório de resultados da análise dos Clientes 2 a 11.**

Sendo o *P-Value* menor que o nível de significância de 5%, deve-se novamente rejeitar  $H_0$ , ou seja, o número de não defeitos não é indiferente para os diferentes clientes. Verifica-se uma redução da estatística Chi-Sq e aumento do *P-Value* de 0,1% para 3,5%, o que comprova que o número de não defeitos do Cliente 1 é diferente do número de não defeitos dos outros clientes.

Entretanto, o *P-Value* menor que o nível de significância de 5% indica que há ainda algum cliente cujo número de não defeitos é diferente dos demais e a suspeita recai sobre o Cliente 8. A análise de sensibilidade foi estendida excluindo-se a linha referente ao cliente 8 e o resultado é apresentado na Figura 17. O teste passa a ter 8 graus de liberdade (DF = 8 na Figura 17).

<p>Chi-Square Test</p> <p>Chi-Sq =</p> $0.070 + 0.090 +$ $1.142 + 1.474 +$ $0.377 + 0.487 +$ $0.930 + 1.201 +$ $1.986 + 2.564 +$ $0.272 + 0.351 +$ $0.019 + 0.024 +$ $0.768 + 0.992 +$ $0.062 + 0.080 = 12.889$ <p>DF = 8, P-Value = 0.116</p>
--

**Figura 17 - Relatório de resultados da análise dos Clientes 2 a 7, 9 a 11.**

Neste teste, sendo o *P-Value* maior que o nível de significância de 5%, deve-se aceitar  $H_0$ , ou seja, o número de não defeitos é indiferente aos clientes 2 a 7 e 9 a 11. Portanto, o número de não defeitos dos clientes 1 e 8 é distinto dos demais clientes.

Antes de prosseguir com o estudo é interessante observar que o resultado desta última análise coincide com a análise anterior, ou seja, os clientes diferentes são os cliente 1 e 8. Este fato sinaliza para a ausência de interação entre as variáveis cliente e família de produto como se havia suspeitado previamente.

### **3.1.3 Terceira análise: Família de produto**

Agrupando as solicitações por família de produto os subtotais por família distribuem-se conforme indica a Tabela 13. O total de solicitações indicado na Tabela 13 é menor do que o total de solicitações citado anteriormente porque foram excluídas as amostras de uma família de produtos que não pertence à GE.

A Figura 18 é o diagrama de Pareto da quantidade de solicitações de amostra por Família de produtos e mostra que três famílias representadas pelos códigos 5, 1 e 2 são responsáveis por 80% do total de solicitações no período considerado.

Tabela 13 - Quantidade de solicitações de amostra por Família de produtos.

Família	Quantidade de solicitações
5	246
1	221
2	125
9	61
7	29
6	26
8	6
3	4
4	1
<b>Total</b>	<b>719</b>

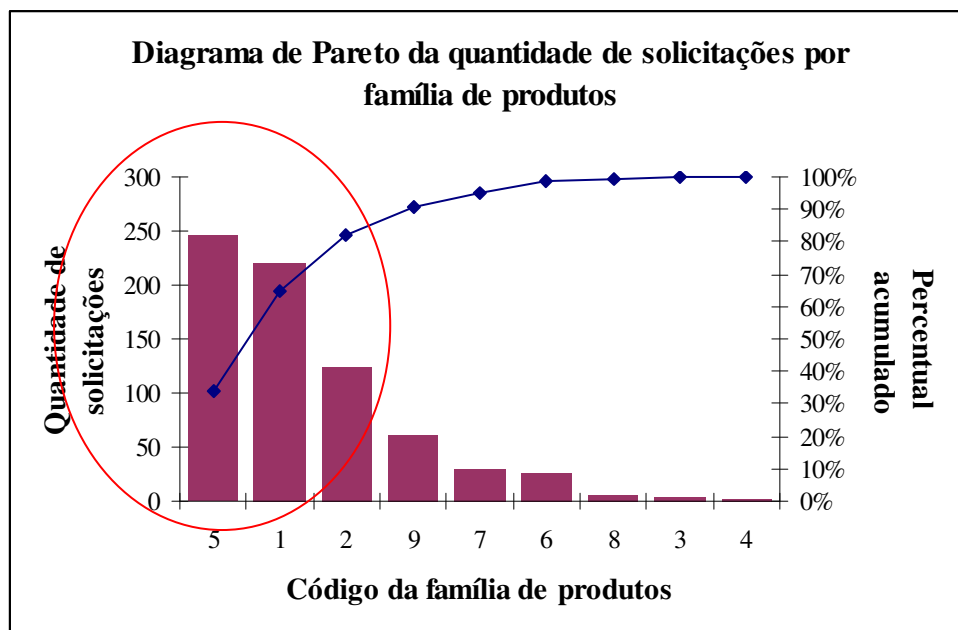


Figura 18 - Diagrama de Pareto da quantidade de solicitações por família de produtos

As informações referentes às Famílias de produtos e s resultados do envio de amostras para os clientes solicitantes estão representados na Tabela 14. Observa-se assinalado na Tabela 14 que as famílias 3, 4 e 8 não têm dados suficientes e portanto são excluídas deste estudo. A Tabela 15 apresenta a tabela de contingência da análise de família de produto.

Tabela 14 – Informações das Famílias de produto.

<b>Família</b>	<b>Dados</b>	<b>Total</b>	<b>% de Não Defeitos</b>
1	Nº de Defeitos	148	
	Nº de Não Defeitos	73	33%
2	Nº de Defeitos	61	
	Nº de Não Defeitos	64	51%
5	Nº de Defeitos	144	
	Nº de Não Defeitos	102	41%
6	Nº de Defeitos	14	
	Nº de Não Defeitos	12	46%
7	Nº de Defeitos	20	
	Nº de Não Defeitos	9	31%
8	Nº de Defeitos	5	
	Nº de Não Defeitos	1	17%
4	Nº de Defeitos	1	
	Nº de Não Defeitos	0	0%
3	Nº de Defeitos	3	
	Nº de Não Defeitos	1	25%
9	Nº de Defeitos	43	
	Nº de Não Defeitos	18	30%
Total de Defeitos		396	
Total de Não Defeitos		262	40%

Tabela 15 - Tabela de contingência para Famílias de produto.

<b>Classificação</b>	<b>Nº de Defeitos</b>	<b>Nº de Não Defeitos</b>
<b>Família</b> 1	148 (134)	73 (87)
2	61 (76)	64 (49)
5	144 (149)	102 (97)
6	14 (16)	12 (10)
7	20 (18)	9 (11)
9	43 (37)	18 (24)

O resultado apresentado na Figura 19 aponta que, sendo o *P-Value* menor que o nível de significância de 5%, deve-se rejeitar  $H_0$ , ou seja, há diferença entre as famílias de produto. Há 6 famílias sendo analisadas por dois critérios, resultando portanto em 5 graus de liberdade.

Chi-Square Test
Chi-Sq =
1.414 + 2.187 +
<b>2.931 + 4.534 +</b>
0.196 + 0.303 +
0.203 + 0.314 +
0.323 + 0.500 +
0.956 + 1.479 = 15.342
DF = 5, P-Value = 0.009

**Figura 19 - Relatório de resultados da análise de Família 1, 2, 5, 6, 7 e 9.**

Verifica-se no relatório da Figura 19 que a linha referente à família 2 apresenta valores maiores que as outras linhas. Uma análise de sensibilidade é realizada excluindo-se a linha referente à família 2. O resultado desta análise é apresentado no relatório da Figura 20 e o teste passa a ter um grau de liberdade a menos (DF = 4).

Chi-Square Test
Chi-Sq =
0.472 + 0.813 +
0.879 + 1.516 +
0.367 + 0.632 +
0.147 + 0.254 +
0.499 + 0.861 = 6.441
DF = 4, P-Value = 0.169

**Figura 20 - Relatório de resultados da análise das Famílias 1, 5, 6, 7 e 9.**

Sendo o *P-Value* maior que o nível de significância de 5%, deve-se aceitar  $H_0$ , ou seja, o número de não defeitos é indiferente às famílias 1, 5, 6, 7 e 9 e a família 2 possui comportamento particular.

### 3.1.4 Quarta análise: Solicitante

Os solicitantes das amostras são membros do time comercial ou do time de Marketing. Os principais solicitantes foram codificados por um algarismo entre 1 e 13 e a quantidade de solicitações de cada um no período de agosto 2004 a maio 2006 foi levantado conforme apresenta a Tabela 16.

**Tabela 16 - Quantidade de solicitações por solicitante.**

<b>Solicitante</b>	<b>Quantidade de solicitações</b>
1	107
2	102
3	78
4	50
5	48
6	38
7	33
8	25
9	24
10	23
11	22
12	21
13	17

Os dados referentes aos principais solicitantes são apresentados na tabela de contingência (Tabela 17). Os resultados do teste são apresentados no relatório da Figura 21. Como nesta análise a tabela de contingência possui 13 linhas e duas linhas, o teste tem 12 graus de liberdade (DF = 12).

**Tabela 17 - Tabela de contingência para Solicitantes.**

	<b>Classificação</b>	<b>Nº. de Defeitos</b>	<b>Nº. de Não Defeitos</b>
<b>Solicitante</b>	1	66	41
	2	70	32
	3	38	40
	4	33	17
	5	26	22
	6	27	11
	7	17	16
	8	11	14
	9	16	8
	10	13	10
	11	13	9
	12	17	4
	13	10	7

Chi-Square Test
Chi-Sq =
0.017 + 0.026 +
1.052 + 1.626 +
1.849 + 2.857 +
0.230 + 0.356 +
0.339 + 0.524 +
0.669 + 1.034 +
0.460 + 0.711 +
1.150 + 1.778 +
0.140 + 0.216 +
0.067 + 0.103 +
0.010 + 0.015 +
1.417 + 2.189 +
0.010 + 0.015 = 18.858
DF = 12, P-Value = 0.092

**Figura 21 - Relatório de resultados da análise dos 13 principais solicitantes.**

Sendo o *P-Value* maior que o nível de significância de 5%, deve-se aceitar  $H_0$ , ou seja, o número de não defeitos é indiferente aos solicitantes. Além disso, como o *P-Value*, a realização de uma análise de sensibilidade não é interessante.

### 3.1.5 Conclusão das Análises

Da primeira análise das interações entre Cliente e Família de produto, conclui-se que apenas duas interações têm comportamento diferente das demais interações, as interações “Cliente 1 e Família 2” e “Cliente 8 e Família 5”. Da segunda análise conclui-se que o número de não defeitos dos Clientes 1 e 8 é distinto dos demais clientes. Da terceira análise conclui-se o número de não defeitos não é independente para a Família de produto 2. Da quarta análise conclui-se que o número de defeitos independe de qual solicitante pede a amostra.

A principal implicação desta análise é que as amostras para o Cliente 1 devem ser priorizadas. Sugere-se também que ações preventivas sejam tomadas com relação ao Cliente 8, racionalizando-lhe o envio de amostras.

Outra sugestão da análise que deve ser melhor estudada é a priorização das amostras da família 2 se o mesmo oferecer uma margem de contribuição interessante.

Este estudo deve ser atualizado periodicamente de forma a incluir novos clientes e identificar mudanças no padrão de fechamento de pedidos dos clientes e dos solicitantes bem como para monitorar o desempenho das diferentes famílias de produtos.

## 3.2 ANÁLISE DA DINÂMICA ATUAL

### 3.2.1 Sistema de Produção do Laboratório

A principal atividade do Laboratório é produzir as amostras em forma de *pellets* (grãos) nas linhas extrusoras. O Laboratório possui duas linhas extrusoras, chamadas de linha 1 e de linha 2. Além destes equipamentos, há também duas linhas de injeção onde o material extrudado é transformado em plaquetas de 50 cm<sup>2</sup> para que a cor desenvolvida seja verificada. A verificação das cores é também uma atividade do Laboratório.

Os principais componentes de uma extrusora são identificados na Figura 22 e detalhados a seguir.

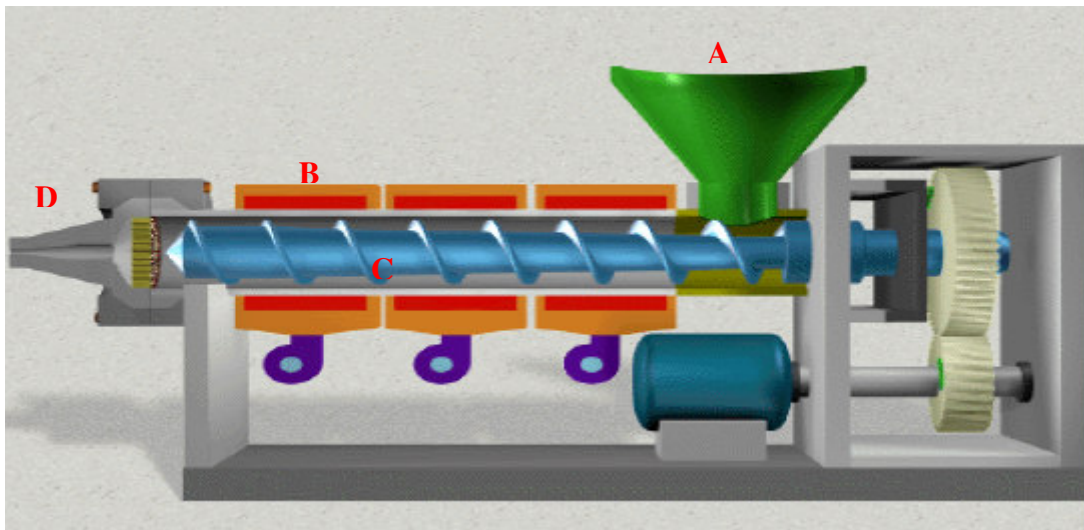
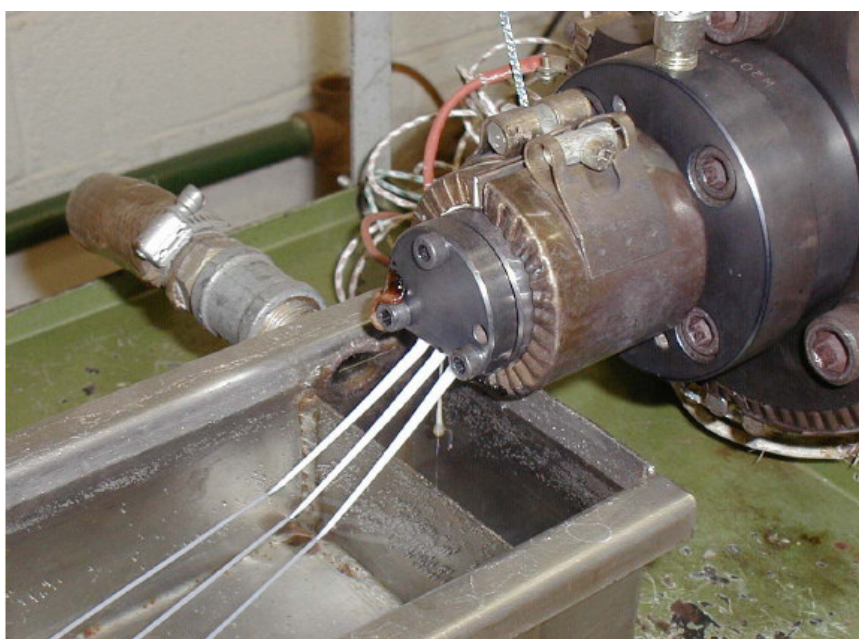


Figura 22 - Esquema de extrusora.

- A. Funil de Alimentação de matéria-prima com dosadores. A alimentação ocorre pela força da gravidade e os dosadores (balanças) controlam a quantidade relativa de cada componente da formulação da massa polimérica.
- B. Cilindro. Além de alojar a rosca, o cilindro abriga o sistema de aquecimento cujas zonas de aquecimento fazem a distribuição adequada de temperatura ao longo do cilindro.

- C. Rosca. Parafuso sem fim que tem como função homogeneizar a massa polimérica e transportá-la até a matriz.
- D. Cabeçote e Matriz. Cabeçote é o conjunto de peças acopladas à extremidade do cilindro e matriz é a extremidade final do cabeçote que tem como função dar forma à massa polimérica.

A Figura 23 mostra a foto de uma matriz cujo perfil é chamado de “espaguete”, exatamente igual às matrizes das linhas da planta da empresa e do Laboratório.



**Figura 23 - Cabeçote, matriz e tanque de resfriamento.**

O funcionamento de uma extrusora começa com o material entrando no cilindro pelo alimentador através da ação da gravidade. As quantidades dos componentes da matéria-prima devem ter sido previamente dosadas na balança e carregadas no alimentador pelo técnico que acompanha a produção.

Conforme o material cai no cilindro ele é depositado no espaço entre a rosca e o cilindro e carregado adiante pela parede do passo da rosca. Enquanto o material avança pelo cilindro, ele é atritado pela rosca gerando calor que, somado à transferência de calor do cilindro, funde ou amolece o material. A rosca também transporta o material até a matriz cujo perfil de orifícios define as dimensões do material polimérico. No caso das matrizes das linhas do Laboratório, o perfil é chamado de “espaguete” devido ao formato de fios finos. A massa polimérica sai quente do cilindro e passa por um processo de resfriamento dentro de canaletas com água. Em seguida, o “espaguete” resfriado passa pelo granulador que corta os fios de polímero em grãos ou *pellets*.

Nota-se que embora haja duas linhas extrusoras, não se trata de um sistema com atividades em série. Uma linha extrusora é suficiente para a produção dos *pellets*.

Para flexibilizar a produção, cinco roscas de perfis e diâmetros diferentes, identificadas pelas letras “a”, “b”, “c”, “d” e “e” podem ser instaladas nas linhas extrusoras, o que permite que famílias de produtos diferentes possam ser produzidas. Observa-se que há Famílias de produtos mais flexíveis que podem ser produzidas com dois tipos de roscas diferentes.

A vazão de material polimérico gira em torno de 20 a 35 kg/h mas há materiais mais complexos cuja vazão chega a 15 kg/h.

Para as solicitações de desenvolvimento de cor, o ciclo de produção é mais longo uma vez que novas cores são desenvolvidas pelo método de tentativa e erro. Diferentes pigmentos em diferentes proporções são testados a fim de chegar a uma cor mais próxima do desejado pelo cliente. Neste processo, a máquina é parada a cada tentativa de acerto de cor. Produz-se uma quantidade mínima de *pellets* que é injetada em forma de plaqueta e a cor é analisada a partir da plaqueta.

O número limitado de linhas no Laboratório não permite que haja linhas extrusoras dedicadas para um mesmo material ou para uma mesma cor. Sendo assim, a cada novo lote é provável que a linha extrusora precise passar por uma lavagem que consiste em remover todo o vestígio de pigmento da produção do lote anterior que possa contaminar a produção atual. Portanto, a lavagem depende da seqüência de cores das amostras produzidas. Este conhecimento, de qual lavagem é necessária para determinada seqüência de produção de cores diferentes, faz parte da experiência de processo dos técnicos do Laboratório. A lavagem mais complexa, e portanto mais demorada, ocorre quando o lote transparente é seqüenciado após o lote de cor preto. Segundo os técnicos do Laboratório, a lavagem pode levar até 4 horas.

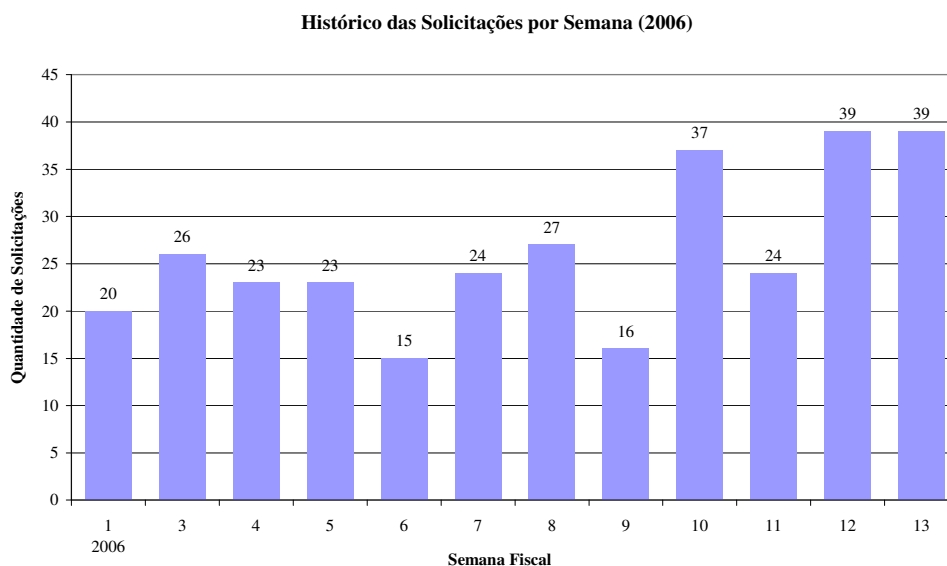
Com relação à mão-de-obra, o Laboratório conta com uma equipe de 4 técnicos e 2 estagiários para três turnos de produção, ou seja, duas pessoas por turno são responsáveis pela produção das amostras no Laboratório. Conforme mencionado previamente, cabe à equipe de cada turno produzir as amostras, o que engloba as atividades de realizar a lavagem das máquinas, realizar a troca de rosca, buscar as matérias-primas no estoque, dosar os componentes, alimentar a linha extrusora com os componentes dosados, ajustar outros parâmetros de produção como a temperatura, a pressão, a vazão, etc., iniciar a produção da linha, ajustar o granulador e embalar os *pellets*. Além disso, no caso da produção de amostras para o desenvolvimento de novas cores, a equipe deve injetar os *pellets* e analisar se as cores

estão de acordo com o padrão estabelecido pelo cliente. Todas estas atividades de produção são ainda complementadas por outras atividades como preenchimento de dados no sistema de informação da empresa, preenchimento de controles de produção, atendimento para esclarecimento de dúvidas dos times comercial e de marketing, etc. Com todas estas atividades, a equipe é considerada o recurso gargalo do Laboratório, pois muitas vezes ela não consegue ocupar as duas máquinas ao mesmo tempo.

A equipe de cada turno trabalha focada em uma das duas máquinas para produzir um único lote de amostra. Esta é uma conclusão importante desta análise, pois será utilizada na simulação do método proposto.

### 3.2.2 Dimensão da Produção do Laboratório

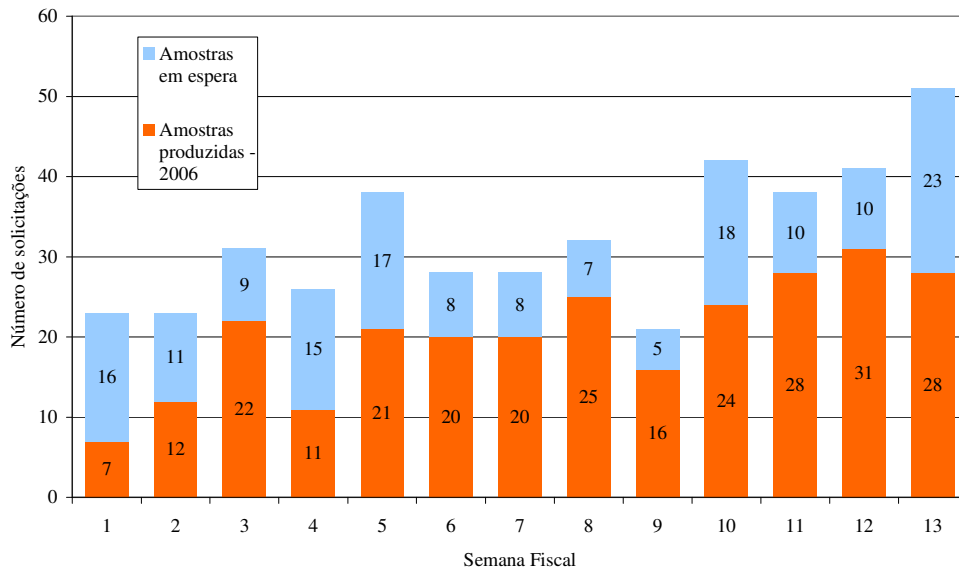
Os dados históricos plotados na Figura 24 e Figura 25 fornecem as dimensões das atividades no laboratório. A Figura 24 representa a demanda semanal de produção do laboratório. Na semana fiscal 13 do ano de 2006 39 solicitações de produção de amostras no laboratório foram efetuadas.



**Figura 24 - Demanda semanal de solicitações.**

A Figura 25 apresenta a quantidade de solicitações SAL e SDC produzidas pelo laboratório e em espera para cada semana em 2006. A espera no laboratório giro em torno de 12 solicitações.

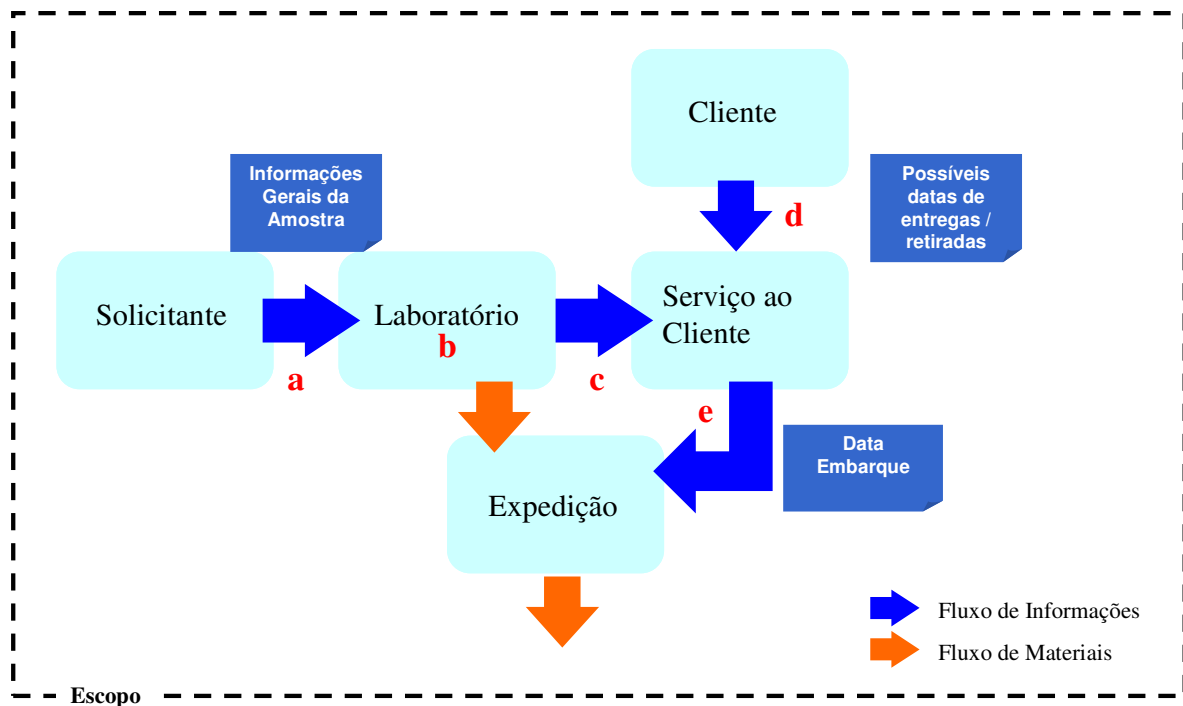
**Total de Solicitações (SAL e SDC) produzidas por semana (2006) e Fila total por semana (2006)**



**Figura 25 - Solicitações produzidas e amostras em espera.**

### 3.2.3 Fluxograma do Sistema Atual

O fluxograma do sistema atual é representado na Figura 26. As principais etapas são representadas na Figura 26 por letras e são explicadas a seguir.



**Figura 26 - Fluxograma atual.**

#### **a) Do Solicitante ao Laboratório**

O fluxograma tem início quando o cliente interno solicita a amostra. Na intranet, o solicitante preenche um formulário com as informações a respeito da amostra que ele deseja que o laboratório produza. As informações referentes às amostras do tipo SDC (desenvolvimento de cor) incluem um padrão de cor, a cor desejada, em forma de plaquetas. A informação da abertura de uma solicitação chega ao laboratório via e-mail.

#### **b) No Laboratório**

As diversas solicitações chegam ao laboratório e sua equipe define quais amostras produzir. O seqüenciamento se baseia na regra FIFO e minimiza as lavagens e as trocas de roscas, ou seja, minimiza o tempo improdutivo. Nesta etapa, o laboratório não sabe qual é a data requerida para a expedição da amostra.

#### **c) Do Laboratório ao Serviço ao Cliente**

Depois de desenvolvida e produzida a amostra, o Laboratório informa ao Serviço ao Cliente que tem como função providenciar a entrega da amostra ao cliente.

#### **d) Tipos de frete**

Há três tipos de frete para a expedição de amostra ao cliente:

- Envio junto com uma carga regular para o Cliente no próximo faturamento
- GE entrega no cliente ou em sua transportadora
- O Cliente retira a amostra em nossa planta

Preferencialmente, a amostra é enviada junto com alguma entrega regular para o cliente. Para os casos em que o cliente não compra regularmente os produtos da empresa há duas opções. Se o cliente está dentro de um raio de 300 km da planta de Campinas, o frete é *Cost, Insurance and Freight (CIF)*, ou seja, entrega-se a amostra no cliente ou em sua transportadora. Para os casos em que o cliente está além deste raio, o frete é *Free On Board (FOB)*, ou seja, o cliente deve buscar sua amostra na planta da GE *Plastics* em Campinas.

Há outros casos, principalmente de desenvolvimento de novas cores, em que são produzidos somente plaquetas injetadas no laboratório de aproximadamente 50 cm<sup>2</sup> que são entregues pessoalmente pelo solicitante a seu cliente ou são enviadas pelo correio. As plaquetas servem para que o cliente verifique se a cor desenvolvida está de acordo com suas necessidades.

O Serviço ao Cliente verifica então a existência de faturamentos próximos ao cliente e em caso negativo entra em contato com o Cliente para acordar uma forma de envio. Feito isto, a Data de Embarque é definida.

#### **e) Do Serviço ao Cliente à Expedição**

Definida a Data de Embarque, um e-mail é enviado ao setor de Expedição que emite a nota fiscal de saída do produto e embarca o produto.

A fila de espera de amostras no laboratório mostrada na Figura 25 indica que a capacidade de processamento do laboratório é menor do que a demanda, representada na Figura 24. Esta condição caracteriza uma etapa gargalo (SLACK et al., 2002, p. 190) que muitas vezes não permite que a totalidade das amostras seja produzida no tempo solicitado.

Além disso, na etapa de Expedição, verifica-se a existência de estoque de amostras esperando as entregas. Esta observação indica que a capacidade de Expedição é menor ainda que a capacidade de produção do laboratório. É bastante claro que a capacidade do sistema como um todo não está balanceada em todas as etapas e como a capacidade do sistema é limitada pela etapa gargalo (SLACK et al., 2002, p. 190), a capacidade do sistema de produção de amostras é limitada pela etapa de Expedição de amostras.

A capacidade da etapa de Expedição é limitada devido à política de frete adotada pela empresa. As amostras solicitadas caracterizam-se por baixo volume, girando em torno de 25 kg por solicitação. Este baixo volume não permite que o frete CIF seja adotado sem um acréscimo relevante no custo de frete. O método atual de entrega visa, portanto, minimizar o custo do frete, aproveitando as entregas regulares para os clientes ou esperando que o cliente venha buscar sua amostra na planta. A frequência de retirada de amostras é aleatória, pois clientes podem retirar imediatamente ou podem demorar semanas (vale ressaltar que as amostras não são cobradas pela empresa, por este motivo o cliente não tem urgência em retirá-las). As entregas regulares também variam de cliente a cliente. A combinação de todos estes fatores fazem com que a variação da frequência de expedição seja muito grande.

A determinação da data de embarque é muito importante neste processo. É ela que define a duração do tempo de ciclo e a urgência de entrega da amostra. Esta informação é obtida pelo Serviço ao Cliente, conforme explicado no item d) da seção 4.1.2. Com o método atual, esta informação só é gerada após a produção da amostra no laboratório. Como o laboratório não tem esta informação no momento de decidir qual amostra priorizar, ele adota a regra FIFO e

ordena as amostras de forma a minimizar lavagens e troca de roscas, conforme explicado no item c) da seção 4.1.2. Desta forma, amostras de clientes que retirariam suas amostras em poucos dias sofrem atrasos e amostras de clientes que demoram para retirar suas amostras ficam em estoque aguardando a retirada.

Além disso, atualmente, nenhum critério alinhado à estratégia da empresa é adotado. O atendimento a clientes cujas amostras são mais efetivas não é priorizado e produtos de baixo valor agregado têm o mesmo peso que produtos diferenciados.

## 4 REVISÃO DO MÉTODO DE PROGRAMAÇÃO

As análises vistas na seção anterior provêm informações importantes para a revisão do método de programação. Esta revisão se estrutura da seguinte forma. Inicialmente, algumas definições são apresentadas para o entendimento do método. Em seguida o método é descrito e analisado.

### 4.1 MÉTODO DE PRIORIZAÇÃO DAS ORDENS DE PRODUÇÃO

Atualmente, o seqüenciamento das solicitações leva em consideração a regra FIFO e procura minimizar as lavagens das linhas e as trocas de rosca.

Conforme visto na seção 3.2, a estimação de tempos de processamento não é precisa o suficiente para utilizar a regra SPT, que dentro das regras mostradas na revisão bibliográfica (vide seção 2.2) é aquela que traz os melhores resultados para os objetivos de atraso.

Constata-se que o tempo de processamento de uma amostra não é maior que um turno (8 horas)<sup>10</sup>. Esta informação do tempo de processamento é suficiente para poder aplicar a regra EDD. Outros critérios alinhados com o negócio foram estudados e devem ser incorporados na revisão do método.

#### 4.1.1 Definições do Método

Inicialmente algumas definições básicas são apresentadas. O entendimento destas definições é essencial para a compreensão do trabalho realizado.

##### **Data de Entrada**

Data em que a informação da solicitação chega ao Laboratório.

##### **Data de Desenvolvimento**

Data em que a amostra é produzida e está pronta para ser embarcada.

##### **Data Requerida**

---

<sup>10</sup> Informação levantadas na empresa.

A Data Requerida é a data de embarque para que o cliente receba sua amostra no prazo desejado. Na literatura ela é definida como *Due Date*. Esta data é definida conforme as seguintes regras:

- Há entrega regular: Menor Data de Embarque após a Data de Entrada do pedido no laboratório. Exemplo: A Data de Entrada da solicitação nº 5190869 foi em 1º de abril de 2006. A data do próximo faturamento após a entrada era dia 3 de abril de 2006. Portanto, a Data Requerida desta solicitação passa a ser o dia 3 de abril.
- Não há entrega regular ou amostras em Plaquetas: Data de Entrada + 5 dias úteis para SAL (Solicitações de Laboratório); Data de Entrada + 9 dias úteis para SDC (Solicitações de Desenvolvimento de Cor). Estas tolerâncias foram definidas pela empresa.

### **Próxima Data de Embarque**

Trata-se da data de faturamento seguinte à Data Requerida. No exemplo anterior, a Próxima Data de Embarque é o dia 5 de abril de 2006. Para os casos em que não há entrega regular ou as amostras são plaquetas, esta definição não se aplica.

### **Folga**

A Folga é definida no momento de priorização das amostras. Ela utiliza a data do momento da decisão (**Data de Hoje**):

- Se a Data Requerida é maior que a Data de Hoje, a Folga é igual à Data Requerida menos a Data de Hoje.
- Se a Data Requerida é menor que a Data de Hoje, a Folga é igual à Próxima Data de Embarque menos a Data de Hoje. Para os casos em que não há entrega regular ou as amostras são plaquetas, esta definição não se aplica.

### **Data de Embarque**

Data em que a amostra é efetivamente embarcada.

### **Atraso (*Tardy jobs*)**

O Atraso é definido após a expedição da amostra. Ele é definido como sendo as solicitações cujos valores da equação Data Requerida menos Data de Embarque são negativos; atrasos são negativos por definição e significam que o embarque é feito depois do prazo (Data

Requerida). A coluna nomeada Atraso apresenta também valores positivos que são os **Tempos em Estoque** do produto acabado.

### **Tempo em Estoque**

O Tempo em Estoque é o tempo que a amostra fica na área de Expedição aguardando o envio.

### **Cliente preferencial**

O Cliente preferencial identifica os clientes cuja probabilidade de fazer um pedido de venda com base na avaliação da amostra é significativamente maior. O presente estudo (vide seção 3.1) identificou apenas o Cliente 1 com este perfil. Este cliente leva a classificação *S* de sim. O restante dos clientes leva classificação *N* de não. De qualquer forma, este estudo deve ser atualizado periodicamente para considerar novos clientes e identificar mudanças no padrão de fechamento de pedidos dos clientes.

### **Produto diferenciado**

Produtos diferenciados são produtos com atributos diferenciados sem similares entre os produtos dos concorrentes. Eles devem ser priorizados seguindo a estratégia comercial da empresa. Cada produto tem sua classificação, sendo *S* para aqueles que são diferenciados e *N* para aqueles que não o são.

#### **4.1.2 Descrição do Método**

O método propõe um rearranjo do fluxograma que antecipa a informação da data de embarque e a disponibiliza para o Laboratório. O Laboratório passa a priorizar as amostras de menor data de embarque. Assim, pretende-se alcançar o objetivo do trabalho que é minimizar os atrasos.

O fluxograma do método proposto é apresentado na Figura 27 onde suas principais etapas são representadas por letras. Estas etapas são descritas a seguir:

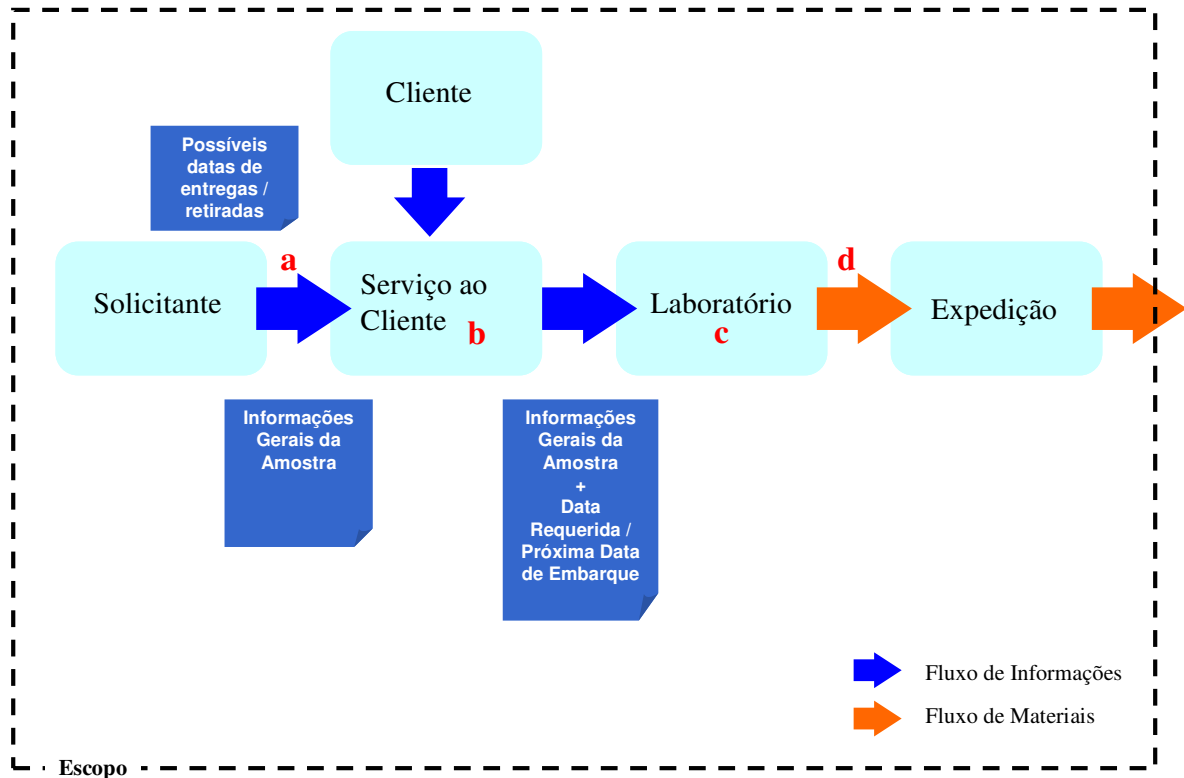


Figura 27 - Esquema geral do método revisado.

#### a) Do Solicitante ao Serviço ao Cliente

O fluxograma continua tendo início no Solicitante da amostra. Entretanto a etapa seguinte do fluxo de informações passa a ser o Serviço ao Cliente e não mais o Laboratório.

#### b) No Serviço ao Cliente

O Serviço ao Cliente define a **Data Requerida** e a **Próxima Data de Embarque** e envia esta informação complementar junto com os dados da solicitação ao Laboratório. Nos casos de amostras só com plaquetas ou de amostras internas (para o Controle de Qualidade, por exemplo) a Próxima Data de Embarque não precisa ser definida.

#### c) No Laboratório

No Laboratório, as amostras a produzir são listadas em uma planilha eletrônica e, em seguida, são ordenadas segundo os seguintes critérios:

- Folga. As solicitações com as menores folgas são levadas ao topo da lista. As com maiores folgas ficam no final da lista.
- Cliente preferencial. Para as solicitações cujos valores da folga são os mesmos, aquelas cujo campo de cliente preferencial apresentar valor igual a  $S$  são levadas ao topo da lista.
- Produto diferenciado. Dentre as solicitações com os mesmos valores para a Folga e para o campo de Cliente preferencial, as solicitações cujos campos de Produto diferenciado são iguais a  $S$  são posicionados acima na lista.

Uma vez definida a priorização das solicitações, o técnico do laboratório conta ainda com certa flexibilidade com as amostras do topo da lista. Em outras palavras, com base em sua experiência e conhecimento de tempo de processamento de amostras o técnico pode priorizar a ordem das cores ou a ordem das roscas caso saiba que isto não afetará os prazos. Tomando como exemplo a situação em que as duas amostras de menor folga (1 dia e 2 dias) seja das cores preta e transparente respectivamente. Caso o técnico saiba que a produção antecipada da amostra de material transparente não irá atrasar o fim da produção da amostra de material preto, ele pode decidir por “desrespeitar” a priorização automática. Esta decisão evitará um tempo improdutivo com a lavagem do sistema de aproximadamente 4 horas requerido quando após processar a amostra preta usa-se o mesmo equipamento para processar a amostra transparente. Este exemplo ilustra a importância de permitir que o agente que decide a programação tenha certo grau de flexibilidade.

O laboratório inicia então a produção da primeira solicitação. Terminada a produção, as solicitações seguintes na lista são produzidas.

#### **d) Do Laboratório à Expedição**

Produzida a amostra, esta é encaminhada à Expedição. É previsto que o tamanho médio do estoque de produtos acabados na área de expedição será reduzido.

## **4.2 ILUSTRAÇÃO DA DINÂMICA DO MÉTODO REVISADO**

A Figura 28 é um esquema da dinâmica do método revisado de produção e expedição de amostras. Há 6 eixos horizontais que representam o eixo de tempo de cada etapa do processo.

Nestes eixos, há 5 marcos de instantes de tempo representados por linhas verticais tracejadas. Estes marcos indicam os momentos em que a programação é realizada. As setas coloridas apontando sempre para baixo representam, cada uma, as solicitações. Elas são identificadas com a mesma cor em todas as etapas do processo.

O primeiro eixo de tempo é o eixo do Solicitante. O ponto de origem da seta no eixo do solicitante indica o momento que a solicitação é enviada ao Serviço ao Cliente. As solicitações são ordenadas de forma crescente, de 1 a 10, sendo que a solicitação número 1 foi enviada antes que a solicitação número 2 e assim por diante.

No Serviço ao Cliente, algum tempo é gasto para a verificação da data de embarque. Por este motivo a seta não é vertical. Os dados da solicitação e sua data de embarque são enviados via e-mail para o Laboratório.

A primeira atividade do Laboratório é seqüenciar as solicitações e é realizada nos marcos indicados pelas linhas tracejadas, ou seja, todos os dias às 8 horas da manhã. O seqüenciamento é realizado com base na lista de pendências (circulada na Figura 28) que é uma lista dinâmica que inclui todas as solicitações pendentes até o momento. No primeiro marco, por exemplo, as solicitações 1, 2 e 3 estão pendentes e portanto fazem parte da lista. No entanto, verifica-se que a ordem das solicitações é diferente da ordem de entrada, sendo igual à ordem de saída. A ordem de saída está representada no eixo da expedição e segue a seguinte ordem: 1, 3, 5, 2, 6, 4, 7, 9 e 8. A amostra 10 será entregue na próxima semana. Verifica-se a aplicação da regra EDD e não a regra FIFO, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9 e 10 conforme chegam as solicitações (ver seção 2.2).

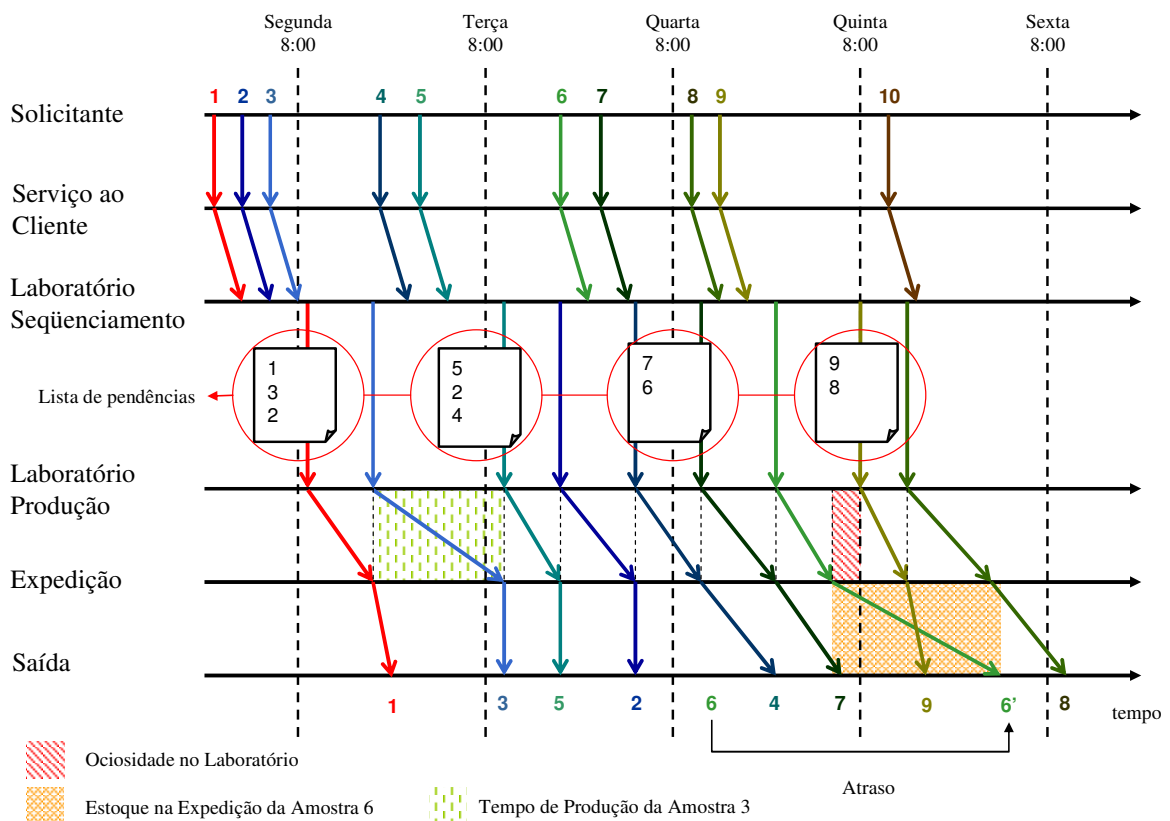
No instante seguinte ao marco da segunda-feira, a primeira solicitação da lista começa a ser produzida no Laboratório. A inclinação das setas entre o eixo “Laboratório Produção” e “Expedição” representa o avanço do tempo de produção da amostra. O tempo de produção da amostra 3 está indicada por uma área sombreada verde na Figura 28.

Na terça-feira, às 8 horas, a amostra 2 não é iniciada ainda, fazendo com que ela entre na lista de pendências. Na lista deste dia, a amostra 5 está no topo porque dentre todas as solicitações pendentes, ela é aquela que tem a menor folga por ter sua data requerida anterior às datas requeridas das outras solicitações da lista. Neste mesmo instante, a produção da amostra 3 que iniciou-se no dia anterior não está finalizada ainda. A produção da amostra 5, portanto, só tem início quando a produção da amostra 3 for finalizada.

Na quarta-feira, vale observar que não há tempo hábil para produzir e entregar a amostra 6 no prazo. Uma próxima data de embarque é definida e representada na Figura 28 como 6' no eixo do tempo da Expedição.

No final do dia de quarta-feira, observa-se que o Laboratório fica um intervalo de tempo ocioso (indicado na Figura 28 com um sombreamento vermelho), pois ele finaliza a produção das amostras 7 e 6 antes da próxima revisão da lista de pendências na quinta-feira de manhã. Neste mesmo dia, o tempo em estoque da amostra 6 aguardando o embarque na Expedição é indicado na Figura 28 com um sombreamento laranja.

Embora a lógica da dinâmica do método proposto ter como objetivo produzir antes as amostras que serão embarcadas antes, é possível que isto não aconteça, como acontece com as amostras 6' e 9 da Figura 28. Isto acontece quando a informação de solicitação de uma amostra de menor folga chega ao Laboratório depois que a produção de uma amostra de maior folga foi iniciada. O Laboratório não pára a produção iniciada para a realização de qualquer outra amostra.



**Figura 28 - Dinâmica do método revisado**

## 5 RESULTADOS

Os resultados do trabalho incluem a verificação da performance simulada da produção segundo o método revisado proposto que é comparada à performance da produção segundo o método de seqüenciamento atual. Esta comparação é feita com base em critérios relacionados aos objetivos do trabalho e às necessidades dos clientes da empresa.

### 5.1 VERIFICAÇÃO DO MÉTODO PROPOSTO

Bratley et al. (1983, p. 8) sugerem que uma verificação deva ser feita para testar quão acurado o modelo implementado é para representar o sistema real. Um dos tipos de verificação (BRATLEY et al. 1983, p. 9) é a “verificação manual da lógica”. É este o tipo de verificação realizada na presente seção.

A simulação de modelos em que não intervém nenhum elemento aleatório é dito de natureza analítica e é aplicada a problemas de natureza determinística. Segundo Agard (1968), quando as relações lógicas entre as variáveis são numerosas e complexas, a simulação é interessante para verificar resultados testando-se diversas hipóteses e parâmetros. Na verificação do método proposto são utilizados os dados do histórico referentes à semana fiscal 14, do dia 3 de abril de 2006 a 9 de abril de 2006. Nesta semana, o laboratório produziu / desenvolveu 13 solicitações de laboratório (SAL) e 18 solicitações de desenvolvimento de cor (SDC) totalizando 31 solicitações.

#### 5.1.1 Considerações Sobre a Simulação

A existência de variáveis que não podem ser controladas, como o fenômeno de metameria<sup>11</sup> no desenvolvimento de cores, e a dificuldade em representar as variáveis aleatórias por meio de funções densidade de probabilidade com aderência significativa torna inviável a representação de tempos de produção por meio de uma função matemática. O procedimento adotado neste trabalho foi encontrar, através de um levantamento histórico, a quantidade média de solicitações produzidas por dia. A Tabela 18 apresenta o levantamento de abril de 2006.

---

<sup>11</sup> Dois ou mais materiais são ditos metaméricos se eles apresentam a mesma cor aparente em uma luz de referência mas diferentes em uma outra luz, espectralmente diferente. Fonte: <http://www.nitriflex.ind.br/docs/lit02.pdf>

Tabela 18 - Quantidade média de solicitações produzidas por dia

MÊS	Dia	SAL	SDC	Total geral
Abril 2006	3/4/2006	5	7	12
	4/4/2006	2	3	5
	5/4/2006	4	3	7
	6/4/2006	2	2	4
	7/4/2006	1	2	3
	11/4/2006	1	4	5
	13/4/2006	1	3	4
	17/4/2006	1		1
	18/4/2006	1	3	4
	20/4/2006	2	4	6
	25/4/2006	5	4	9
	26/4/2006	5	1	6
	28/4/2006	1	5	6
	10/4/2006		5	5
	12/4/2006		1	1
	19/4/2006		4	4
	21/4/2006		1	1
	24/4/2006		2	2
	27/4/2006		7	7
<b>Total geral</b>		<b>31</b>	<b>61</b>	<b>92</b>
<b>Média</b>		<b>2,4</b>	<b>3,4</b>	<b>4,8</b>
<b>Mediana</b>		<b>2</b>	<b>3</b>	<b>5</b>

Em média, 5 amostras são produzidas por dia no laboratório. Esta simplificação é razoável porque variáveis, como o volume de produção, têm influência da ordem de minutos sobre a variação dos tempos de produção, e portanto são desconsideradas. Conforme visto na seção 3.2.1, a equipe do Laboratório é o recurso gargalo e ela consegue produzir 5 amostras por dia não utilizando necessariamente as duas linhas. Observa-se, portanto, ociosidade de capacidade produtiva em que cada linha pode permanecer de 50% a 100% do tempo parada. O que limita a produção é a disponibilidade de pessoas.

Na simulação considera-se, portanto, a capacidade de produção do Laboratório de 5 amostras por dia.

Além do tempo de produção, estima-se, na simulação, a **Data de embarque** da seguinte forma:

- Se a Data de Desenvolvimento é menor que a Data Requerida, a Data de Embarque considerada é igual à Data Requerida;

- Se a Data de Desenvolvimento é maior que a Data Requerida, a Data de Embarque considerada é igual à Próxima Data de Embarque.

Para alguns casos particulares a Data de Embarque é considerada igual à Data de Desenvolvimento. Quando as amostras são destinadas ao QA ou para testes internos, uma vez desenvolvida a amostra é prontamente movimentada para seu destino. No caso do desenvolvimento exclusivo de plaquetas, estas são enviadas por correio ao solicitante no mesmo dia.

### **5.1.2 Procedimento da Simulação**

A primeira data simulada é o dia 3 de abril de 2006, segunda feira. Do histórico, levantam-se todas as solicitações que entraram antes das 8 horas desta data e as que não haviam sido produzidas até então, ou seja, as solicitações pendentes. Para isto, utilizam-se os dados da coluna DATA ENTRADA que apresentam as datas e as horas de entrada das solicitações no Laboratório.

Em seguida, as amostras pendentes são listadas em uma planilha eletrônica e ordenadas através da opção “Classificar” do programa Microsoft Excel segundo os critérios:

- Folga. As folgas são classificadas em ordem crescente de forma que as solicitações de menores folgas são levadas ao topo da lista e as de maiores folgas ficam no final da lista.
- Cliente preferencial. Para as solicitações cujos valores da folga são idênticos, aquelas cujo campo de cliente preferencial é “S” são levadas ao topo da lista.
- Produto diferenciado. Dentre as solicitações com os mesmos valores para a Folga e para o campo de Cliente preferencial, as solicitações cujo campo de Produto diferenciado é “S” são posicionados acima na lista.

Passo seguinte é verificar se a folga é maior ou igual a zero. Em caso negativo, a folga passa a ser calculada considerando a Próxima Data de Embarque ao invés da Data Requerida. Os valores na coluna PRÓXIMA DATA indicam quais solicitações utilizam esta data para o cálculo da Folga (vide Tabela 21).

Em seguida, cinco solicitações são selecionadas, indicadas em amarelo (ver Tabela 21) e são ordenadas de forma a minimizar as lavagens e as trocas de roscas. A Tabela 19 mostra quais roscas são apropriadas para cada uma das Famílias de produtos e a

Tabela 20 representa a leitura da lógica que os técnicos utilizam atualmente referente às cores. Por exemplo, o seqüenciamento da produção de uma amostra na cor cinza fechado após a produção de uma amostra na cor preta exige uma lavagem. Quanto mais distante as cores estão uma das outras na

Tabela 20, mais demorada é esta lavagem.

**Tabela 19 - Roscas para cada Família de produto.**

<b>Família de produtos</b>	<b>Rosca</b>
1	a
2	e
3	a
4	b
5	c, e
6	a
7	c
8	e
9	b, d

**Tabela 20 – Seqüência de cores que exige a lavagem da linha.**

<b>Cores</b>	
Preto	
Cinza fechado	
Cinza	
Vermelho	
Laranja	
Verde	
Azul	
Natural	
Branco	
Transparente	

A primeira coluna, ORDEM, indica a ordem de produção destas cinco solicitações.

As solicitações que acabam não sendo produzidas são transferidas para a próxima data. A estas solicitações são acrescentadas as solicitações que chegaram no Laboratório entre 8 horas da data anterior e 8 horas da data atual. Esta lista consolidada é a nova lista de pendências.

### Passo 1: Segunda-feira, 3/4/2006, 8:00

A lista de pendências do laboratório conta com 17 solicitações conforme mostra a Tabela 21. Feita a classificação chega-se a 6 amostras com folga menor ou igual a 0. Como somente 5 amostras são produzidas por dia, decidiu-se não produzir a solicitação número 5188999, passando a atrasá-la porque sua Próxima Data de Entrega representa um atraso menor, de 2 dias úteis. Vale observar que esta solicitação utilizará a Próxima Data de Embarque para o cálculo da folga nos dias seguintes.

Considera-se inicialmente que as linhas de extrusão estão limpas. Na linha 1, primeiramente se produz a amostra laranja com a rosca “a”. Em seguida, a rosca é trocada e a amostra vermelha é produzida. Ao final do dia, a linha 1 está “vermelha”, com a rosca “c”.

Na linha 2, inicialmente são produzidas as duas amostras vermelhas para em seguida produzir-se a amostra cinza. A rosca é a mesma para as três amostras. Ao final do dia, a linha 2 está “cinza”, com a rosca “c”.

**Tabela 21 - Lista de amostras pendentes do dia 3/4/2006, às 8h.**

ORDEM	TIPO	NÚMERO SOLICITAÇÃO	DATA ENTRADA	DATA REQUERIDA	PRÓXIMA DATA	FOLGA	CLIENTE	CLIENTE PREFERENCIAL	PRODUTO DIFERENCIADO	LINHA	FAMILIA	DESCRIÇÃO COR	QTDE	PLACAS	ROSCA
2	SAL	5124423	27/3/06 8:27	1/4/06		-2	QA	N	N	1	7	Vermelho	10	0	c
	SDC	5188999	31/3/06 16:54	3/4/06	5/4/06	0	137	N	N	2	5	Verde	25	3	c
4	SDC	5190869	1/4/06 11:26	3/4/06		0	137	N	N	2	5	Vermelho	25	3	c
3	SDC	5188961	31/3/06 16:51	3/4/06		0	137	N	N	2	5	Vermelho	25	3	c
5	SAL	5185832	31/3/06 12:49	3/4/06		0	2	N	N	2	5	Cinza	10	0	c
1	SAL	5185769	31/3/06 12:45	3/4/06		0	184	N	N	1	1	Laranja	10	0	a
	SAL	5129739	31/3/06 6:16	4/4/06		1	103	N	N		5	Transparente	25	0	
	SAL	5185983	31/3/06 12:57	4/4/06		1	178	N	S		9	Natural	13	0	
	SDC	5186024	31/3/06 13:01	4/4/06		1	178	N	N		5	Cinza	25	3	
	SAL	5181737	31/3/06 6:44	5/4/06		2	195	N	N		5	Cinza	25	0	
	SDC	5188663	31/3/06 16:23	5/4/06		2	153	N	N		6	Cinza	25	5	
	SAL	5188784	31/3/06 16:35	5/4/06		2	QA	N	N		1	Preto	10	0	
	SAL	5186081	31/3/06 13:08	7/4/06		4	191	N	N		1	Branco	25	0	
	SDC	5154421	29/3/06 9:03	7/4/06		4	189	N	N		8	Branco	50	5	
	SDC	5172917	30/3/06 14:06	8/4/06		5	194	N	S		9	Vermelho	25	10	
	SDC	5172961	30/3/06 14:08	8/4/06		5	137	N	S		9	Branco	10	10	
	SDC	5180966	31/3/06 8:18	9/4/06		6	1	S	S		1	Cinza fechado	0	3	

O balanço de solicitações ao final do dia 3 de abril apresentado na Tabela 22 indica quais solicitações havia no início, quais entraram, quais foram produzidas e quais ficam pendentes para o dia seguinte. A linha ao final da Tabela 22 traz as quantidades totais de solicitações. Verifica-se que a quantidade do início somada à quantidade de entrada, subtraindo-se a quantidade produzida resulta na quantidade pendente.

**Tabela 22 - Balanço de solicitações no final do dia 3/4/2006.**

Balanço de solicitações				
	<b>Início</b>	<b>Entrada</b>	<b>Saídas (Produzidas)</b>	<b>Restantes (Pendentes)</b>
1	5124423		5124423	5188999
2	5188999		5190869	5129739
3	5190869		5188961	5185983
4	5188961		5185832	5186024
5	5185832		5185769	5181737
6	5185769			5188663
7	5129739			5188784
8	5185983			5186081
9	5186024			5154421
10	5181737			5172917
11	5188663			5172961
12	5188784			5180966
13	5186081			
14	5154421			
15	5172917			
16	5172961			
17	5180966			
<b>Total</b>	<b>17</b>	<b>0</b>	<b>5</b>	<b>12</b>

## Passo 2: Terça-feira, 4/4/2006, 8:00

A lista de pendências do laboratório conta com 17 solicitações conforme apresenta a Tabela 23. As cinco solicitações priorizadas e produzidas são aqueles que têm folga menor igual a 1 dia.

No início do dia, a linha 1 está “vermelha” e com a rosca “c”. Apenas uma amostra de cor preta é produzida neste dia com a rosca “a”. Há, portanto, uma troca de rosca. Ao final do dia, a linha 1 está “preta”, com a rosca “a”.

No início do dia, a linha 2 está “cinza” e com a rosca “c”. Todas as amostras produzidas na linha 2 utilizam a rosca “c”. Antes da produção do dia, uma lavagem deve ser feita. A ordem das cores produzidas é transparente, cinza e verde. Ao final do dia, a linha 2 está “verde”, com a rosca “c”.

Neste dia fica claro a ociosidade da linha 1, conforme previsto na seção 5.1.1.

**Tabela 23 - Lista de amostras pendentes do dia 4/4/2006, às 8h.**

ORDEM	TIPO	NÚMERO SOLICITAÇÃO	DATA ENTRADA	DATA REQUERIDA	PRÓXIMA DATA	FOLGA	CLIENTE	CLIENTE PREFERENCIAL	PRODUTO DIFERENCIADO	LINHA	FAMILIA	DESCRIÇÃO COR	QTDE	PLACAS	ROSCA
6	SAL	5129739	31/3/06 6:16	4/4/06		0	103	N	N	2	5	Transparente	25	0	c
10	SDC	5188999	31/3/06 16:54	3/4/06	5/4/06	1	137	N	N	2	5	Verde	25	3	c
9	SDC	5186024	31/3/06 13:01	4/4/06	5/4/06	1	178	N	N	2	5	Cinza	25	3	c
8	SAL	5181737	31/3/06 6:44	5/4/06		1	195	N	N	2	5	Cinza	25	0	c
7	SAL	5188784	31/3/06 16:35	5/4/06		1	QA	N	N	1	1	Preto	10	0	a
	SDC	5188663	31/3/06 16:23	5/4/06	6/4/06	2	153	N	N		6	Cinza	25	5	
	SAL	5185983	31/3/06 12:57	4/4/06	6/4/06	2	178	N	S		9	Natural	13	0	
	SAL	5207490	3/4/06 18:21	7/4/06		3	80	N	N		5	Transparente	25	0	
	SDC	5154421	29/3/06 9:03	7/4/06		3	189	N	N		8	Branco	50	5	
	SAL	5186081	31/3/06 13:08	7/4/06		3	191	N	N		1	Branco	25	0	
	SDC	5197553	3/4/06 8:51	7/4/06		3	28	N	N		1	Cinza	25	5	
	SDC	5172961	30/3/06 14:08	8/4/06		4	137	N	S		9	Branco	10	10	
	SDC	5172917	30/3/06 14:06	8/4/06		4	194	N	S		9	Vermelho	25	10	
	SDC	5180966	31/3/06 8:18	9/4/06		5	1	S	S		1	Cinza fechado	0	3	
	SDC	5200563	3/4/06 11:00	12/4/06		8	188	N	N		5	Vermelho	0	5	
	SDC	5200316	3/4/06 10:51	12/4/06		8	192	N	N		5	Cinza	0	0	
	SDC	5200414	3/4/06 10:55	12/4/06		8	192	N	N		5	Branco	0	0	

O balanço de solicitações apresentado na Tabela 24 indica quais solicitações havia no início, quais entraram, quais foram produzidas e quais ficaram pendentes para o dia seguinte. A linha

ao final da Tabela 24 apresenta as quantidades totais de solicitações. No início do dia houve, da data anterior, 12 solicitações, cinco novas solicitações entraram, 5 solicitações foram produzidas e o dia terminou restando 12 solicitações para o dia seguinte.

**Tabela 24 - Balanço de solicitações no final do dia 4/4/2006.**

Balanço de solicitações				
	<b>Início</b>	<b>Entrada</b>	<b>Saídas (Produzidas)</b>	<b>Restantes (Pendentes)</b>
1	5188999	5207490	5129739	5188663
2	5129739	5197553	5188999	5185983
3	5185983	5200563	5186024	5207490
4	5186024	5200316	5181737	5154421
5	5181737	5200414	5188784	5186081
6	5188663			5197553
7	5188784			5172961
8	5186081			5172917
9	5154421			5180966
10	5172917			5200563
11	5172961			5200316
12	5180966			5200414
<b>Total</b>	<b>12</b>	<b>5</b>	<b>5</b>	<b>12</b>

### Passo 3: Quarta-feira, 5/4/2006, 8:00

A lista de pendências do laboratório conta com 17 solicitações conforme apresenta a Tabela 25.

No início do dia, a linha 1 está “preta” e com a rosca “a”. A rosca é trocada para a “c”. A amostra preta é produzida primeiramente. A rosca é então trocada pela “a” para produzir-se as amostras cinza e cinza fechado. Uma lavagem é realizada e a rosca “c” volta a ser instalada para produzir a amostra transparente. Ao final do dia, a linha 1 está “transparente” e com a rosca “c”. Prefere-se a troca de rosca à lavagem porque a primeira tem duração menor.

No início do dia, a linha 2 está “verde” e com a rosca “c”. Uma lavagem e uma troca de rosca são realizadas para a produção da amostra natural. Ao final do dia, a linha 2 está limpa e com a rosca “d”. Desta vez é a linha 2 que fica ociosa grande parte do tempo ociosa.

**Tabela 25 - Lista de amostras pendentes do dia 5/4/2006, às 8h.**

ORDEM	TIPO	NÚMERO SOLICITAÇÃO	DATA ENTRADA	DATA REQUERIDA	PRÓXIMA DATA	FOLGA	CLIENTE	CLIENTE PREFERENCIAL	PRODUTO DIFERENCIADO	LINHA	FAMILIA	DESCRIÇÃO COR	QTDE	PLACAS	ROSCA
13	SAL	5223202	4/4/06 20:51	6/4/06		1	6	N	S	1	1	Cinza fechado	25	0	a
12	SDC	5188663	31/3/06 16:23	5/4/06	6/4/06	1	153	N	N	1	6	Cinza	25	5	a
15	SAL	5185983	31/3/06 12:57	4/4/06	6/4/06	1	178	N	S	2	9	Natural	13	0	d
14	SAL	5207490	3/4/06 18:21	7/4/06		2	80	N	N	1	5	Transparente	25	0	c
11	SAL	5221099	4/4/06 17:23	7/4/06		2	80	N	N	1	5	Preto	25	0	c
	SDC	5213749	4/4/06 9:45	7/4/06		2	80	N	N	2		Cinza	25	3	
	SDC	5213781	4/4/06 9:48	7/4/06		2	80	N	N	2		Cinza	25	5	
	SDC	5154421	29/3/06 9:03	7/4/06		2	189	N	N	8		Branco	50	5	
	SAL	5186081	31/3/06 13:08	7/4/06		2	191	N	N	1		Branco	25	0	
	SDC	5197553	3/4/06 8:51	7/4/06		2	28	N	N	1		Cinza	25	5	
	SDC	5172961	30/3/06 14:08	8/4/06		3	137	N	S	9		Branco	10	10	
	SDC	5172917	30/3/06 14:06	8/4/06		3	194	N	S	9		Vermelho	25	10	
	SDC	5180966	31/3/06 8:18	9/4/06		4	1	S	S	1		Cinza fechado	0	3	
	SDC	5200563	3/4/06 11:00	12/4/06		7	188	N	N	5		Vermelho	0	5	
	SDC	5200316	3/4/06 10:51	12/4/06		7	192	N	N	5		Cinza	0	0	
	SDC	5200414	3/4/06 10:55	12/4/06		7	192	N	N	5		Branco	0	0	
	SDC	5181020	4/4/06 15:53	13/4/06		8	1	S	S	1		Cinza	0	3	

A linha ao final da Tabela 26 apresenta as quantidades totais de solicitações. No início do dia houve, da data anterior, 12 solicitações, cinco novas solicitações entraram, 5 solicitações foram produzidas e no final do dia restaram 12 solicitações para o dia seguinte.

Tabela 26 - Balanço de solicitações no final do dia 5/4/2006.

Balanço de solicitações				
	<b>Início</b>	<b>Entrada</b>	<b>Saídas (Produzidas)</b>	<b>Restantes (Pendentes)</b>
1	5188663	5223202	5223202	5213749
2	5185983	5221099	5188663	5213781
3	5207490	5213749	5185983	5154421
4	5154421	5213781	5207490	5186081
5	5186081	5181020	5221099	5197553
6	5197553			5172961
7	5172961			5172917
8	5172917			5180966
9	5180966			5200563
10	5200563			5200316
11	5200316			5200414
12	5200414			5181020
<b>Total</b>	<b>12</b>	<b>5</b>	<b>5</b>	<b>12</b>

#### Passo 4: Quinta-feira, 6/4/2006, 8:00

A lista de pendências do laboratório neste dia é constituído de 13 solicitações conforme apresentada na Tabela 27.

No início do dia, a linha 1 está “transparente” e com a rosca “c”. A amostra vermelha deve ser produzida prioritariamente porque a folga é igual a zero. Optou-se portanto em produzir a seqüência vermelho e cinza. A rosca é trocada para a “a”. Produz-se então a amostra vermelha e em seguida a amostra cinza. Ao final do dia, a linha 1 está “cinza” e com a rosca “a”.

No início do dia, a linha 2 está limpa e com a rosca “d”. A rosca é trocada para a “e”. Inicialmente, produz-se uma amostra branca e em seguida duas amostras cinza. Ao final do dia, a linha 2 está “cinza” e com a rosca “e”.

Tabela 27 - Lista de amostras pendentes do dia 6/4/2006, às 8h.

ORDEM	TIPO	NÚMERO SOLICITAÇÃO	DATA ENTRADA	DATA REQUERIDA	PRÓXIMA DATA	FOLGA	CLIENTE	CLIENTE PREFERENCIAL	PRODUTO DIFERENCIADO	LINHA	FAMILIA	DESCRIÇÃO COR	QTDE	PLACAS	ROSCA
16	SAL	5236563	5/4/06 18:26	6/4/06		0	26	N	S	1	1	Vermelho	50	0	a
19	SDC	5213749	4/4/06 9:45	7/4/06		1	80	N	N	2	2	Cinza	25	3	e
18	SDC	5213781	4/4/06 9:48	7/4/06		1	80	N	N	2	2	Cinza	25	5	e
17	SDC	5154421	29/3/06 9:03	7/4/06		1	189	N	N	2	8	Branco	50	5	e
	SAL	5186081	31/3/06 13:08	7/4/06		1	191	N	N	1	1	Branco	25	0	a
20	SDC	5197553	3/4/06 8:51	7/4/06		1	28	N	N	1	1	Cinza	25	5	a
	SDC	5172961	30/3/06 14:08	8/4/06		2	137	N	S	2	9	Branco	10	10	b
	SDC	5172917	30/3/06 14:06	8/4/06		2	194	N	S	1	9	Vermelho	25	10	b
	SDC	5180966	31/3/06 8:18	9/4/06		3	1	S	S	1	1	Cinza fechado	0	3	a
	SDC	5200563	3/4/06 11:00	12/4/06		6	188	N	N	2	5	Vermelho	0	5	c
	SDC	5200316	3/4/06 10:51	12/4/06		6	192	N	N	2	5	Cinza	0	0	c
	SDC	5200414	3/4/06 10:55	12/4/06		6	192	N	N	2	5	Branco	0	0	c
	SDC	5181020	4/4/06 15:53	13/4/06		7	1	S	S	1	1	Cinza	0	3	a

A linha ao final da Tabela 28 apresenta as quantidades totais de solicitações. No início do dia houve, da data anterior, 12 solicitações, uma nova solicitação entrou, 5 solicitações foram produzidas e e o dia se encerra restando 8 solicitações para o dia seguinte.

Tabela 28 - Balanço de solicitações no final do dia 6/4/2006.

Balanço de solicitações				
	<b>Início</b>	<b>Entrada</b>	<b>Saídas (Produzidas)</b>	<b>Restantes (Pendentes)</b>
1	5213749	5236563	5236563	5186081
2	5213781		5213749	5172961
3	5154421		5213781	5172917
4	5186081		5154421	5180966
5	5197553		5197553	5200563
6	5172961			5200316
7	5172917			5200414
8	5180966			5181020
9	5200563			
10	5200316			
11	5200414			
12	5181020			
<b>Total</b>	<b>12</b>	<b>1</b>	<b>5</b>	<b>8</b>

### Passo 5: Sexta-feira, 7/4/2006, 8:00

A Tabela 29 lista as pendências do laboratório que somam 9 solicitações.

No início do dia, a linha 1 está “cinza” e com a rosca “a”. Após uma lavagem e com a mesma rosca, produz-se a amostra branca número 5186081. Instala-se a rosca “b” para a produção da amostra vermelha. Volta-se com a rosca “a” para a produção da amostra cinza. Ao final do dia, a linha 1 está “cinza” e com a rosca “a”.

No início do dia, a linha 2 está “cinza” e com a rosca “e”. Produz-se a amostra azul, realiza-se uma lavagem e uma troca de rosca para a produção da amostra branca número 5172961. Ao final do dia, a linha 2 está “branca” e com a rosca “a”.

**Tabela 29 - Lista de amostras pendentes do dia 7/4/2006, às 8h.**

ORDEM	TIPO	NÚMERO SOLICITAÇÃO	DATA ENTRADA	DATA REQUERIDA	PRÓXIMA DATA	FOLGA	CLIENTE	CLIENTE PREFERENCIAL	PRODUTO DIFERENCIADO	LINHA	FAMILIA	DESCRIÇÃO COR	QTDE	PLACAS	ROSCA
21	SDC	5242835	6/4/06 10:04	6/4/06		-1	57	N	S	2	5	Azul	25	5	e
22	SAL	5186081	31/3/06 13:08	7/4/06		0	191	N	N	1	1	Branco	25	0	a
24	SDC	5172961	30/3/06 14:08	8/4/06		1	137	N	S	2	9	Branco	10	10	b
23	SDC	5172917	30/3/06 14:06	8/4/06		1	194	N	S	1	9	Vermelho	25	10	b
25	SDC	5180966	31/3/06 8:18	9/4/06		2	1	S	S	1	1	Cinza fechado	0	3	a
	SDC	5200563	3/4/06 11:00	12/4/06		5	188	N	N		5	Vermelho	0	5	
	SDC	5200316	3/4/06 10:51	12/4/06		5	192	N	N		5	Cinza	0	0	
	SDC	5200414	3/4/06 10:55	12/4/06		5	192	N	N		5	Branco	0	0	
	SDC	5181020	4/4/06 15:53	13/4/06		6	1	S	S		1	Cinza	0	3	

A linha ao final da Tabela 30 apresenta as quantidades totais de solicitações. No início do dia houve, da data anterior, 8 solicitações, uma nova solicitação entrou, 5 solicitações foram produzidas e o dia se encerra restando 4 solicitações para o dia seguinte.

Tabela 30 - Balanço de solicitações no final do dia 7/4/2006.

Balanço de solicitações				
	<b>Início</b>	<b>Entrada</b>	<b>Saídas (Produzidas)</b>	<b>Restantes (Pendentes)</b>
1	5186081	5242835	5242835	5200563
2	5172961		5186081	5200316
3	5172917		5172961	5200414
4	5180966		5172917	5181020
5	5200563		5180966	
6	5200316			
7	5200414			
8	5181020			
<b>Total</b>	<b>8</b>	<b>1</b>	<b>5</b>	<b>4</b>

**Passo 6: Sábado, 8/4/2006, 8:00**

A Tabela 31 lista 8 solicitações pendentes no laboratório. As atividades no sábado são como os outros dias da semana, com 3 turnos de produção.

Ao final do dia, a linha 1 está “cinza” e com a rosca “a”, pois não houve produção na linha 1. No início do dia, a linha 2 está “branca” e com a rosca “a”. Troca-se a rosca para a “e” e produz-se a amostra preta. Ao final do dia, a linha 2 está “preta” e com a rosca “e”.

Neste dia, embora haja capacidade produtiva de 5 amostras, apenas uma solicitação é produzida pois as folgas das outras solicitações são altas.

**Tabela 31 - Lista de amostras pendentes do dia 8/4/2006, às 8h.**

ORDEM	TIPO	NÚMERO SOLICITAÇÃO	DATA ENTRADA	DATA REQUERIDA	PRÓXIMA DATA	FOLGA	CLIENTE	CLIENTE PREFERENCIAL	PRODUTO DIFERENCIADO	LINHA	FAMILIA	DESCRIÇÃO COR	QTDE	PLACAS	ROSCA
26	SAL	5255217	7/4/06 8:55	10/4/06		2	80	N	N	2	2	Preto	25	0	e
	SDC	5200563	3/4/06 11:00	12/4/06		4	188	N	N		5	Vermelho	0	5	
	SDC	5200316	3/4/06 10:51	12/4/06		4	192	N	N		5	Cinza	0	0	
	SDC	5200414	3/4/06 10:55	12/4/06		4	192	N	N		5	Branco	0	0	
	SDC	5262681	7/4/06 17:45	13/4/06		5	50	N	N		1	Branco	25	3	
	SDC	5181020	4/4/06 15:53	13/4/06		5	1	S	S		1	Cinza	0	3	
	SDC	5262750	7/4/06 17:55	16/4/06		8	50	N	N		1	Branco	0	10	
	SDC	5256087	7/4/06 9:53	16/4/06		8	194	N	S		9	Vermelho	10	0	

A linha ao final da Tabela 32 apresenta as quantidades totais de solicitações. Da data anterior, vieram 4 solicitações; 4 novas solicitações entraram; 1 solicitação foi produzidas e o dia se encerra restando 7 solicitações para a semana seguinte.

Tabela 32 - Balanço de solicitações no final do dia 8/4/2006.

Balanço de solicitações				
	<b>Início</b>	<b>Entrada</b>	<b>Saídas (Produzidas)</b>	<b>Restantes (Pendentes)</b>
1	5200563	5255217	5255217	5200316
2	5200316	5262681		5200414
3	5200414	5262750		5262681
4	5181020	5256087		5181020
5				5262750
6				5256087
7				5200563
<b>Total</b>	<b>4</b>	<b>4</b>	<b>1</b>	<b>7</b>

### 5.1.3 Resultados

Na Tabela 33 são apresentadas as 31 solicitações produzidas na semana 14 segundo o método de seqüenciamento atual. Os dados apresentados foram levantados do histórico de produção e embarque de amostras da empresa.

**Tabela 33 - Relatório de produção que foi apontado na semana considerada.**

A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T
ORDEM	DATA DESENVOLVIMENTO	DIA	TIPO	NÚMERO DA SOLICITAÇÃO	DATA ENTRADA	DATA REQUERIDA	EMBARQUE	ATRASO	CLIENTE	CLIENTE PREFERENCIAL	PRODUTO DIFERENCIADO	LINHA	FAMILIA	DESCRIÇÃO COR	QTDE	PLACAS	ROSCA	LAVAGEM	TROCA ROSCA
1	3/4	seg	SAL	5186081	31/3	7/4	7/4	4	191	N	N	1	1	Branco	25	0	a	N	N
2	3/4	seg	SAL	5185769	31/3	3/4	3/4	0	184	N	N	1	1	Laranja	10	0	a	N	N
3	3/4	seg	SDC	5188961	31/3	3/4	3/4	0	137	N	N	2	5	Vermelho	25	3	c	N	N
4	3/4	seg	SDC	5197553	3/4	7/4	7/4	4	28	N	N	1	1	Cinza	25	5	a	N	N
5	3/4	seg	SAL	5188784	31/3	5/4	3/4	2	QA	N	N	1	1	Preto	10	0	a	N	N
6	3/4	seg	SAL	5129739	31/3	4/4	10/4	1	103	N	N	2	5	Transparente	25	0	c	N	N
7	3/4	seg	SDC	5200414	3/4	12/4	3/4	9	192	N	N	2	5	Branco	0	0	c	N	N
8	3/4	seg	SDC	5188999	31/3	3/4	11/4	-8	137	N	N	2	5	Verde	25	3	c	N	N
9	3/4	seg	SDC	5190869	1/4	3/4	11/4	-8	137	N	N	2	5	Vermelho	25	3	c	N	N
10	3/4	seg	SDC	5200563	3/4	12/4	3/4	9	188	N	N	2	5	Vermelho	0	5	c	N	N
11	3/4	seg	SDC	5200316	3/4	12/4	3/4	9	192	N	N	2	5	Cinza	0	0	c	N	N
12	4/4	ter	SDC	5181020	4/4	13/4	4/4	9	1	S	S	1	1	Cinza	0	3	a	S	N
13	4/4	ter	SDC	5180966	31/3	9/4	4/4	5	1	S	S	1	1	Cinza fechado	0	3	a	N	N
14	4/4	ter	SDC	5186024	31/3	4/4	5/5	-31	178	N	N	2	5	Cinza	25	3	c	N	N
15	4/4	ter	SAL	5181737	31/3	5/4	4/4	1	195	N	N	2	5	Cinza	25	0	c	N	N
16	4/4	ter	SAL	5185832	31/3	3/4	4/4	-1	2	N	N	2	5	Cinza	10	0	c	N	N
17	5/4	qua	SAL	5223202	4/4	6/4	7/4	1	6	N	S	1	1	Cinza fechado	25	0	a	N	N
18	5/4	qua	SDC	5188663	31/3	5/4	5/4	0	153	N	N	1	6	Cinza	25	5	a	N	N
19	5/4	qua	SAL	5207490	4/4	7/4	7/4	2	80	N	N	1	5	Transparente	25	0	c	S	S
20	5/4	qua	SAL	5221099	4/4	7/4	7/4	2	80	N	N	1	5	Preto	25	0	c	N	N
21	5/4	qua	SDC	5213781	4/4	7/4	7/4	2	80	N	N	2	2	Cinza	25	5	e	N	S
22	5/4	qua	SDC	5213749	4/4	7/4	7/4	2	80	N	N	2	2	Cinza	25	3	e	N	N
23	5/4	qua	SAL	5185983	31/3	4/4	10/4	-6	178	N	S	2	9	Natural	13	0	b	S	S
24	6/4	qui	SAL	5124423	27/3	1/4	6/4	-5	QA	N	N	1	7	Vermelho	10	0	c	S	N
25	6/4	qui	SAL	5236563	5/4	6/4	12/4	-6	26	N	S	1	1	Vermelho	50	0	a	N	S
26	6/4	qui	SDC	5154421	29/3	7/4	7/4	1	189	N	N	2	8	Branco	50	5	e	N	S
27	6/4	qui	SDC	5242835	6/4	6/4	6/4	0	57	N	S	2	5	Azul	25	5	e	N	N
28	7/4	sexta	SDC	5172917	30/3	8/4	7/4	1	194	N	S	1	9	Vermelho	25	10	b	N	S
29	7/4	sexta	SDC	5256087	7/4	16/4	7/4	9	194	N	S	1	9	Vermelho	10	0	b	N	N
30	7/4	sexta	SAL	5255217	7/4	10/4	10/4	3	80	N	N	2	2	Preto	25	0	e	N	N
31	8/4	sab	SDC	5172961	30/3	8/4	8/4	0	137	N	S	2	9	Branco	10	10	b	S	S

Na Tabela 34 são apresentadas a seqüência de atendimento das 26 solicitações produzidas na semana 14 segundo a simulação da produção do método revisado.

**Tabela 34 - Seqüenciamento das ordens conforme o método proposto e simulação de sua produção.**

A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T
ORDEM	DATA DESENV.	DIA	TIPO	NÚMERO DA SOLICITAÇÃO	DATA ENTRADA	DATA REQUERIDA	EMBARQUE	ATRASSO	CLIENTE	CLIENTE PREFERENCIAL	PRODUTO DIFERENCIADO	LINHA	FAMÍLIA	DESCRIÇÃO COR	QTDE	PLACAS	ROSCA	LAVAGEM	TROCA ROSCA
1	3/4	seg	SAL	5185769	31/3	3/4	3/4	0	184	N	N	1	1	Laranja	10	0	a	N	N
2	3/4	seg	SAL	5124423	27/3	1/4	3/4	-2	QA	N	N	1	7	Vermelho	10	0	c	N	S
3	3/4	seg	SDC	5188961	31/3	3/4	3/4	0	137	N	N	2	5	Vermelho	25	3	c	N	N
4	3/4	seg	SDC	5190869	1/4	3/4	5/4	-2	137	N	N	2	5	Vermelho	25	3	c	N	N
5	3/4	seg	SAL	5185832	31/3	3/4	4/4	-1	2	N	N	2	5	Cinza	10	0	c	N	N
6	4/4	ter	SAL	5129739	31/3	4/4	4/4	0	103	N	N	2	5	Transparente	25	0	c	S	N
7	4/4	ter	SAL	5188784	31/3	5/4	4/4	1	QA	N	N	1	1	Preto	10	0	a	N	S
8	4/4	ter	SAL	5181737	31/3	5/4	4/4	1	195	N	N	2	5	Cinza	25	0	c	N	N
9	4/4	ter	SDC	5186024	31/3	4/4	5/4	-1	178	N	N	2	5	Cinza	25	3	c	N	N
10	4/4	ter	SDC	5188999	31/3	3/4	5/4	-2	137	N	N	2	5	Verde	25	3	c	S	N
11	5/4	qua	SAL	5221099	4/4	7/4	7/4	0	80	N	N	1	5	Preto	25	0	c	N	S
12	5/4	qua	SDC	5188663	31/3	5/4	5/4	0	153	N	N	1	6	Cinza	25	5	a	S	S
13	5/4	qua	SAL	5223202	4/4	6/4	6/4	0	6	N	S	1	1	Cinza fechado	25	0	a	N	N
14	5/4	qua	SAL	5207490	4/4	7/4	7/4	0	80	N	N	1	5	Transparente	25	0	c	S	S
15	5/4	qua	SAL	5185983	31/3	4/4	6/4	-2	178	N	S	2	9	Natural	13	0	d	S	S
16	6/4	qui	SAL	5236563	5/4	6/4	6/4	0	26	N	S	1	1	Vermelho	50	0	a	N	S
17	6/4	qui	SDC	5154421	29/3	7/4	7/4	0	189	N	N	2	8	Branco	50	5	e	N	S
18	6/4	qui	SDC	5213781	4/4	7/4	7/4	0	80	N	N	2	2	Cinza	25	5	e	N	N
19	6/4	qui	SDC	5213749	4/4	7/4	7/4	0	80	N	N	2	2	Cinza	25	3	e	N	N
20	6/4	qui	SDC	5197553	3/4	7/4	7/4	0	28	N	N	1	1	Cinza	25	5	a	N	N
21	7/4	sexta	SDC	5242835	6/4	6/4	7/4	-1	57	N	S	2	5	Azul	25	5	e	S	N
22	7/4	sexta	SAL	5186081	31/3	7/4	7/4	0	191	N	N	1	1	Branco	25	0	a	S	N
23	7/4	sexta	SDC	5172917	30/3	8/4	8/4	0	194	N	S	1	9	Vermelho	25	10	b	N	S
24	7/4	sexta	SDC	5172961	30/3	8/4	8/4	0	137	N	S	2	9	Branco	10	10	b	S	S
25	7/4	sexta	SDC	5180966	31/3	9/4	9/4	0	1	S	S	1	1	Cinza fechado	0	3	a	N	S
26	8/4	sab	SAL	5255217	7/4	10/4	10/4	0	80	N	N	2	2	Preto	25	0	e	N	S

As 5 solicitações indicadas na Tabela 35 não seriam produzidas na semana fiscal 14 pela simulação da produção considerando o método proposto.

**Tabela 35 - Solicitações não produzidas na semana fiscal 14.**

ORDEM	DATA DESENV.	DIA	TIPO	NÚMERO DA SOLICITAÇÃO	DATA ENTRADA	DATA REQUERIDA	EMBARQUE	ATRASO	CLIENTE	CLIENTE PREFERENCIAL	PRODUTO DIFERENCIADO	LINHA	FAMÍLIA	DESCRIÇÃO COR	QTDE	PLACAS	ROSCA	LAVAGEM	TROCA ROSCA
6	3/4	seg	SDC	5200414	3/4	12/4	3/4	9	192	N	N	2	5	Branco	0	0	c	N	N
10	3/4	seg	SDC	5200316	3/4	12/4	3/4	9	192	N	N	2	5	Cinza	0	0	c	N	N
11	4/4	ter	SDC	5181020	4/4	13/4	4/4	9	1	S	S	1	1	Cinza	0	3	a	S	N
25	6/4	qui	SAL	5236563	5/4	6/4	12/4	-6	26	N	S	1	1	Vermelho	50	0	a	N	S
28	7/4	sexta	SDC	5256087	7/4	16/4	7/4	9	194	N	S	1	9	Vermelho	10	0	b	N	N

## 5.2 AVALIAÇÃO DOS RESULTADOS

Obtidos os resultados, o desempenho da produção simulada conforme o método proposto e o desempenho da produção real que foi obtida dos procedimentos seguidos atualmente são comparados com base nos critérios de avaliação seguintes:

- Total de solicitações atendidas
- Número de Atrasos
- Tamanho médio do atraso (dias)
- Atraso máximo (dias)
- Número de Lavagens das linhas de extrusão
- Número de Trocas de rosca nas linhas de extrusão
- Número de Atrasos para Produtos Diferenciados (dias)
- Tamanho médio do atraso para Produtos Diferenciados (dias)
- Atrasos para Clientes Preferenciais (dias)
- Tempo em Estoque médio (dias)
- Tempo em Estoque máximo (dias)

O número de lavagens e de troca de rosca das linhas de extrusão são indicativos do aumento do tempo improdutivo do sistema.

A Tabela 36 apresenta uma explicação de como os resultados da Tabela 37 foram calculados.

**Tabela 36 – Memória de cálculo dos resultados**

<b>Crítérios</b>	<b>Método Atual</b>	<b>Método Revisado</b>
Total de Solicitações atendidas	Total de linhas da Tabela 33	Total de linhas da Tabela 34
Número de Atrasos	Quantidade de valores da coluna I da Tabela 33 menores que 0	Quantidade de valores da coluna I da Tabela 34 menores que 0
Tamanho médio do atraso (dias)	Média dos valores da coluna I da Tabela 33 menores que 0	Média dos valores da coluna I da Tabela 34 menores que 0
Atraso máximo (dias)	Valor mínimo da coluna I da Tabela 33	Valor mínimo da coluna I da Tabela 34
Número de Lavagens das linhas de extrusão	Quantidade de valores iguais a “S” da coluna S da Tabela 33	Quantidade de valores iguais a “S” da coluna S da Tabela 34
Número de Trocas de Rosca nas linhas de extrusão	Quantidade de valores iguais a “S” da coluna T da Tabela 33	Quantidade de valores iguais a “S” da coluna T da Tabela 34
Número de Atrasos de Produtos Diferenciados (dias)	Selecionam-se as linhas cujos valores da coluna L são iguais a “S”. Na coluna I da Tabela 33 contam-se os valores menores que 0.	Selecionam-se as linhas cujos valores da coluna L são iguais a “S”. Na coluna I da Tabela 34 contam-se os valores menores que 0.
Tamanho médio do atraso (dias) para Produtos Diferenciados	Selecionam-se as linhas cujos valores da coluna L são iguais a “S”. Na coluna I da Tabela 33 calcula-se a média dos valores menores que 0.	Selecionam-se as linhas cujos valores da coluna L são iguais a “S”. Na coluna I da Tabela 34 calcula-se a média dos valores menores que 0.
Número de Atrasos de Clientes Preferenciais	Selecionam-se as linhas cujos valores da coluna K são iguais a “S”. Na coluna I da Tabela 33 contam-se os valores menores que 0.	Selecionam-se as linhas cujos valores da coluna K são iguais a “S”. Na coluna I da Tabela 34 contam-se os valores menores que 0.
Tempo em Estoque médio (dias)	Selecionam-se as linhas cujos valores da coluna I da Tabela 33 são maiores ou iguais a zero. Calcula-se a média destes valores.	Selecionam-se as linhas cujos valores da coluna I da Tabela 34 são maiores ou iguais a zero. Calcula-se a média destes valores.
Tempo em Estoque máximo (dias)	Valor máximo da coluna I da Tabela 33	Valor máximo da coluna I da Tabela 34

Os valores da coluna “% revisado sobre atual” da Tabela 37 são calculados tomando os valores do Método Revisado menos os valores do Método Atual dividido pelos valores do Método Atual.

A Tabela 37 sintetiza a avaliação da performance dos dois métodos, o atual e o revisado, conforme os critérios explicados. As duas últimas colunas da Tabela 37 indicam a variação percentual do método revisado em relação ao método atual e se a variação traz uma melhoria ou não para a empresa.

**Tabela 37 - Comparação do resultado do método revisado com a situação atual**

<b>Critérios</b>	<b>Método Atual</b>	<b>Método Revisado</b>	<b>% revisado sobre atual</b>	<b>Efeito</b>
Total de Solicitações atendidas	31	26	<b>-10%</b>	<b>Pior</b>
Número de Atrasos	7	7	<b>0%</b>	-
Tamanho médio do Atraso (dias)	-9	-2	<b>-78%</b>	<b>Melhor</b>
Atraso máximo (dias)	-31	-2	<b>-94%</b>	<b>Melhor</b>
Número de Lavagens das linhas de extrusão	5	8	<b>60%</b>	<b>Pior</b>
Número de Trocas de Rosca nas linhas de extrusão	7	12	<b>71%</b>	<b>Pior</b>
Número de Atrasos de Produtos Diferenciados (dias)	2	2	<b>0%</b>	-
Tamanho médio do Atraso (dias) para Produtos Diferenciados	6	1,5	<b>-75%</b>	<b>Melhor</b>
Número de Atrasos de Clientes Preferenciais	0	0		-
Tempo em Estoque médio (dias)	3	0	<b>-100%</b>	<b>Melhor</b>
Tempo em Estoque máximo (dias)	9	1	<b>-89%</b>	<b>Melhor</b>

**Pior: Resultado pior com o método revisado**

**Melhor: Resultado melhor com o método revisado**

**-: Indiferente com o método revisado**

## 6 DISCUSSÃO DOS RESULTADOS E CONCLUSÃO

### 6.1 RESULTADOS DA AVALIAÇÃO COMPARATIVA DOS MÉTODOS DE SEQÜENCIAMENTO ATUAL E DO PROPOSTO

Os resultados da avaliação comparativa são discutidos sob o foco dos principais pontos do presente trabalho.

- **Atrasos.** Embora o número de atrasos não tenha sido diferente (7 para ambos os métodos), verifica-se uma substancial redução do tamanho médio do atraso (de 9 dias no método atual para 2 dias no método revisado), 78% menor para o método revisado. Além disso, o atraso máximo de 31 dias no método atual é evitado com atraso máximo de apenas 2 dias. É exatamente este o objetivo central buscado pela revisão do método. Outro ponto positivo é a redução considerável de 75% do tamanho do atraso para Produtos Diferenciados (de 6 para 1,5 dias). Este tipo de melhoria está totalmente alinhado com o esforço da empresa em se diferenciar de seus concorrentes junto aos seus clientes.
- **Lavagem e Troca de Rosca.** Como previsto, há um *trade-off* entre o tempo improdutivo de produção e a redução dos atrasos. O número de lavagens e de troca de rosca aumentou 60% e 71%, respectivamente. Levantamentos junto aos técnicos do laboratório mostram que as lavagens variam de 1h a 4h, sendo esta última torna-se necessária quando uma amostra preta é seguida pela produção de uma amostra transparente. Estima-se que o tempo médio de lavagem nas condições da simulação seja de 2h. O tempo de troca de rosca é bastante menor, segundo o laboratório, girando em torno de 30 minutos. Portanto, como há um acréscimo de 3 lavagens e 6 trocas de rosca, o tempo de *setup* ou tempo improdutivo com estas atividades representariam um acréscimo de 9 horas na semana (6 vezes 3 horas mais 12 vezes meia hora).
- **Tempo em Estoque máximo (dias).** Apesar das simplificações assumidas na simulação do método revisado, é evidente que as amostras produzidas passam menos tempo nas dependências da empresa. Como a produção é postergada ao máximo os custos de produção também o são. Isto fica evidente quando a programação simulada deixa de produzir 5 solicitações que foram produzidas na semana 14 para produzir na semana seguinte, ou seja, o modelo não antecipa desnecessariamente a produção se há folga.

- **Melhorias no método revisado.** O método revisado propõe que a revisão da lista de priorização no laboratório aconteça ao final de cada *job*. Em outras palavras, cada vez que uma amostra é finalizada, a decisão de programação de qual será a próxima amostra a ser produzida é baseada na lista atualizada com as solicitações que chegaram desde a última consulta. Por limitações da simulação como a impossibilidade de estimar com precisão os tempos de produção (tempo produtivo e improdutivo de lavagem e troca de rosca), não é possível verificar a dinâmica desta versão melhorada do método revisado. Estas melhorias devem ser testadas na próxima etapa do projeto, ou seja no teste real do procedimento revisado.
- **Considerações para a implementação do método revisado.** A implementação do método revisado não foi incluída no escopo do presente trabalho uma vez que isso demanda mudanças organizacionais e de sistemas de informação. Além disso, ao sistema de informações atual deve ser adicionado um módulo que classifica as amostras automaticamente e que seja atualizada com as solicitações que chegam ao Laboratório. A extensão natural do presente trabalho é verificar como as equipes do Laboratório e do Serviço ao Cliente interagem com o procedimento proposto.

## 6.2 CONCLUSÃO

Acredita-se que a solução proposta pelo presente trabalho atende à preocupação inicial do autor de buscar uma solução simples, de fácil compreensão por parte dos usuários do sistema, que possa ser implementada sem necessidade de grandes investimentos e que, portanto, seja de fácil aceitação. O trabalho projeta através da simulação apresentada que o aprimoramento do método atual de seqüenciamento possibilita atingir os resultados estipulados, proporcionando consideráveis melhorias na busca do objetivo de redução dos atrasos na entrega de amostras aos clientes e evitando-se a situação paradoxal de encontrar fila de solicitações a serem produzidas no Laboratório e acúmulo de estoque na área de Expedição.

## 7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABE, R. A. H. **Seis sigma**: melhoria do processo de tomada de decisão na área comercial de uma multinacional do setor de termoplásticos. 2003. Trabalho de formatura do curso de graduação do Departamento de Engenharia de Produção da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 2003.

AGARD, J. et al. **Les méthodes de simulation**. Paris, Dunod, 1968.

APICS. The Association for Operations Management. Disponível em: <<http://www.apics.org/default.htm>>. Acesso em 30 out. 2006.

BRATLEY, P.; FOX, B. L.; SCHRAGE, L. E. **A guide to simulation**. New York: Springer-Verlag, 1983.

CHASE, R. et al. **Administração da produção para a vantagem competitiva**. Tradução de R. Brian Taylor – 10. ed. – Porto Alegre: Bookman, 2006.

CORREA, H. L. CORREA, C. A. **Administração de produção e operações: manufatura e serviços**: uma abordagem estratégica. São Paulo: Atlas, 2006.

COSTA NETO, P. L. de O. **Estatística**. São Paulo: Edgard Blücher, 1977.

DE PAOLI, M. A. **Processamento de polímeros**. Instituto de Química, Universidade Estadual de Campinas, 2006. Disponível em: <<http://www.cg.iqm.unicamp.br/material/qg952/ExtrusaomonoroscaAula1-Marco-AurelioDePaoli.pdf>>. Acesso em 20 abr. 2006.

FERRI, E. B. **Análise de terceirização de frota própria de uma empresa do ramo alimentício**. 2005. Trabalho de formatura do curso de graduação do Departamento de Engenharia de Produção da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 2005.

GE NO BRASIL. Disponível em: <<http://www.ge.com/br/>>. Acesso em: 26 set. 2006.

GE PLASTICS LATIN AMERICA. Disponível em: <<http://www.geplastics.com.br/resinsbr/resins/index.html>>. Acesso em 30 out. 2006.

GENERAL ELECTRIC COMPANY. Disponível em: <<http://www.ge.com/br/>>. Acesso em: 26 set. 2006.

HARRY, M.; SCHROEDER, R. **Six Sigma**: The breakthrough management strategy revolutionizing the world's top corporations. New York: Doubleday, 2000.

KOTLER, P.; ARMSTRONG, G. **Princípios de Marketing**. Tradução de V. Whately. Revisão técnica de R. M. Pinheiro. Rio de Janeiro: LTC, 1998.

MARKLAND, R. E. et al. **Operations management**: concepts in manufacturing and services. 2. ed. – St. Paul: International Thomson Publishing, 1995.

MONKS, J. G. **Administração da produção**. Tradução de L. S. Blandly. Rev. P. G. Martins – São Paulo: McGraw-Hill, 1987.

MONTGOMERY, D. C.; RUNGER, G. C. **Applied statistics and probability for engineers**. 3 ed. John Wiley & Sons, 2002.

NAHMIA, S. **Production and operations analysis**. 3. ed. – Singapore: McGraw-Hill, 1997.

NITRIFLEX DA AMAZÔNIA INDÚSTRIA E COMÉRCIO S.A. Nota Técnica. Cor & Colorimetria – Princípios Básicos e Fundamentos. Disponível em: <<http://www.nitriflex.ind.br/docs/lit02.pdf>>. Acesso em 27 out. 2006.

PORTER, M. E. **Estratégia competitiva**: Técnicas para análise de indústrias e da concorrência. Tradução de E. M. De Pinto Braga. Revisão técnica de J. A. Garcia Gómez – 7 ed. – Rio de Janeiro: Campus, 1991.

SHIBA, S.; GRAHAM, A.; WALDEN, D. **TQM**: quatro revoluções na gestão da qualidade. Tradução de Eduardo D'Agord Schaan, Elisabete Lacerda e Rejane S. Bohrer. Porto Alegre: Artes Médicas, 1997.

SLACK, N. et al. **Administração da produção**. Tradução de M. T. C. de Oliveira – 2. ed. – São Paulo: Atlas, 2002.

## ANEXO A – Exemplos de comparação de regras de seqüenciamento

### EXEMPLO 1

Um centro de usinagem possui cinco atividades pendentes em um particular ponto do tempo. As atividades são identificadas por algarismos 1, 2, 3, 4 e 5 na ordem com que elas entraram no sistema. Os respectivos tempos de produção e datas requeridas são dadas (NAHMIAS, 1997, p. 405):

Atividade	Tempo de produção (horas)	Data requerida (horas)
1	11	61
2	29	45
3	31	31
4	1	33
5	2	32

### FCFS

Atividade	Data de produção	Data requerida	Atraso
1	11	61	0
2	40	45	0
3	71	31	40
4	72	33	39
5	74	32	42
Total	268		121

Medida de performance	Cálculo	Resultado
Tempo médio de fluxo	$268/5$	53,6
Atraso médio	$121/5$	24,2
Número de atividades em atraso	-	3

O atraso da atividade é igual a zero se a atividade é completada antes que sua data requerida e é igual ao número de dias em atraso se a atividade é completada depois de sua data requerida.

**SPT**

As atividades são seqüenciadas ordenando os tempos de produção de forma crescente.

Atividade	Tempo de produção	Data de produção	Data requerida	Atraso
4	1	1	33	0
5	2	3	32	0
1	11	14	61	0
2	29	43	45	0
3	31	74	31	43
Total		135		43

Medida de performance	Cálculo	Resultado
Tempo médio de fluxo	135/5	27,0
Atraso médio	43/5	8,6
Número de atividades em atraso	-	1

**EDD**

As atividades são completadas na ordem de suas datas requeridas.

Atividade	Tempo de produção	Data de produção	Data requerida	Atraso
3	31	31	31	0
5	2	33	32	1
4	1	34	33	1
2	29	63	45	18
1	11	74	61	13
Total		235		33

Medida de performance	Cálculo	Resultado
Tempo médio de fluxo	235/5	47,0
Atraso médio	33/5	6,6
Número de atividades em atraso	-	4

**CR**

A razão crítica (CR) é a Data requerida menos o Tempo atual, dividido pelo Tempo de produção.

Primeiramente calcula-se as razões críticas no tempo  $t = 0$ .

Tempo atual: $t = 0$			
Atividade	Tempo de produção	Data requerida	Critical Ratio
1	11	61	61/11 (5,545)
2	29	45	45/29 (1,552)
3	31	31	31/31 (1,000)
4	1	33	33/1 (33,00)
5	2	31	32/2 (16,00)

O menor valor corresponde à atividade 3, que é produzida primeiro. Como esta atividade necessita de 31 unidades de tempo para ser produzida, é preciso atualizar as razões críticas para determinar a próxima atividade a ser produzida. O relógio é movido para  $t = 31$  e as razões críticas são calculadas.

Tempo atual: $t = 31$			
Atividade	Tempo de produção	Data requerida	Critical Ratio
1	11	30	30/11 (2,272)
2	29	14	14/29 (0,483)
4	1	2	2/1 (2,000)
5	2	1	1/2 (0,500)

O menor valor corresponde à atividade 2 (0,483) que é a próxima atividade a ser produzida. Como esta atividade necessita de 29 unidades de tempo para ser produzida, é preciso atualizar as razões críticas para determinar a próxima atividade a ser produzida. O relógio é movido para  $t = 31 + 29 = 60$ .

Tempo atual: $t = 31$			
Atividade	Tempo de produção	Data requerida	Critical Ratio
1	11	1	1/11 (0,0909)
4	1	-27	<0
5	2	-28	<0

As atividades 4 e 5 estão atrasadas e serão priorizadas e seqüenciadas em seguida. Uma vez que elas são seqüenciadas pela regra SPT, a atividade 4 é produzida primeiro, seguida da atividade 5. Finalmente a atividade é produzida por último.

Resumo dos resultados para o seqüenciamento CR			
Atividade	Tempo de produção	Data produzida	Atraso
3	31	31	0
2	29	60	15
4	1	61	28
5	2	63	31
1	11	74	13
Total		289	87

Medida de performance	Cálculo	Resultado
Tempo médio de fluxo	$289/5$	57,8
Atraso médio	$87/5$	17,4
Número de atividades em atraso	-	4

### Resumo dos resultados

RESUMO			
Regra de Seqüenciamento	Tempo médio de fluxo	Atraso médio	Número de atividades em atraso
FCFS	53,6	24,2	3
SPT	27,0	8,6	1
EDD	47,0	6,6	4
CR	57,8	17,4	4

**EXEMPLO 2**

Às cinco atividades foram atribuídos códigos de A a E. (SLACK et al., 2002)

**FIFO**

Atividade	Tempo de produção	Início	Término	Data prometida	Atraso (dias)
A	5	0	5	6	0
B	3	5	8	5	3
C	6	8	14	8	6
D	2	14	16	7	9
E	1	16	17	3	14
Tempo Total de processo		60	Atraso total		32
Tempo médio de processo (total: 5)		12	Atraso médio (total: 5)		6,4

**EDD**

Atividade	Tempo de produção	Início	Término	Data prometida	Atraso (dias)
E	1	0	1	3	0
B	3	1	4	5	0
A	5	4	9	6	3
D	2	9	11	7	4
C	6	11	17	8	9
Tempo Total de processo		42	Atraso total		16
Tempo médio de processo (total: 5)		8,4	Atraso médio (total: 5)		3,2

**SPT**

Atividade	Tempo de produção	Início	Término	Data prometida	Atraso (dias)
E	1	0	1	3	0
D	2	1	3	7	0
B	3	3	6	5	1
A	5	6	11	6	5
C	6	11	17	8	9
Tempo Total de processo		38	Atraso total		16
Tempo médio de processo (total: 5)		7,6	Atraso médio (total: 5)		3,2

**Resumo dos resultados**

RESUMO		
<b>Regra de Seqüenciamento</b>	<b>Tempo médio de fluxo</b>	<b>Atraso médio</b>
FIFO	12	6,4
EDD	8,4	3,2
SPT	7,6	3,2

**EXEMPLO 3**

Considere as cinco atividades seguintes com os tempos de produção e as datas requeridas dadas (MARKLAND et al., 1995, tradução nossa):

Atividade	Tempo de produção (horas)	Data requerida (horas)
A	6	12
B	10	22
C	5	20
D	14	40
E	8	10

Avalia-se alternativas de seqüenciamento das atividades usando o FCFS, o SPT, o EDD e o CR. Avalia-se cada regra pela medidas de tempo médio de fluxo, número médio de atividades no sistema, atraso médio, e máximo atraso.

**FCFS**

Atividade	Tempo de fluxo	Atraso
A	$0 + 6 = 6$	0
B	$6 + 10 = 16$	0
C	$16 + 5 = 21$	1
D	$21 + 14 = 35$	0
E	$35 + 8 = 43$	33

Medida de performance	Cálculo	Resultado
Tempo médio de fluxo	$(6 + 16 + 21 + 35 + 43)/5$	24,2 horas
Número médio de atividades no sistema	$[6(5) + 10(4) + 5(3) + 14(2) + 8(1)]/43$	2,814 atividades
Atraso médio	$(0 + 0 + 1 + 0 + 33)/5$	6,8 horas
Máximo atraso	-	33 horas

**SPT**

Atividade	Tempo de fluxo	Atraso
C	$0 + 5 = 5$	0
A	$5 + 6 = 11$	0
E	$11 + 8 = 19$	0
B	$19 + 10 = 29$	7
D	$29 + 14 = 43$	3

Medida de performance	Cálculo	Resultado
Tempo médio de fluxo	$(5 + 11 + 19 + 29 + 43)/5$	21,4 horas
Número médio de atividades no sistema	$[5(5) + 6(4) + 8(3) + 10(2) + 14(1)]/43$	2,49 atividades
Atraso médio	$(0 + 0 + 0 + 7 + 3)/5$	2,0 horas
Máximo atraso	-	7 horas

**EDD**

Atividade	Tempo de fluxo	Atraso
E	$0 + 8 = 8$	0
A	$8 + 6 = 14$	2
C	$14 + 5 = 19$	0
B	$19 + 10 = 29$	7
D	$29 + 14 = 43$	3

Medida de performance	Cálculo	Resultado
Tempo médio de fluxo	$(8 + 14 + 19 + 29 + 43)/5$	22,6 horas
Número médio de atividades no sistema	$[8(5) + 6(4) + 5(3) + 10(2) + 14(1)]/43$	2,63 atividades
Atraso médio	$(0 + 2 + 0 + 7 + 3)/5$	2,4 horas
Máximo atraso	-	7 horas

**CR**

Atividade	CR	Tempo de fluxo	Atraso
E	$10/8 = 1,25$	$0 + 8 = 8$	0
A	$12/6 = 2,0$	$8 + 6 = 14$	2
E	$22/10 = 2,2$	$14 + 10 = 24$	2
D	$40/14 = 2,86$	$24 + 14 = 38$	0
C	$20/5 = 4,0$	$38 + 5 = 43$	23

Medida de performance	Cálculo	Resultado
Tempo médio de fluxo	$(8 + 14 + 24 + 38 + 43)/5$	25,4 horas
Número médio de atividades no sistema	$[8(5) + 6(4) + 10(3) + 14(2) + 5(1)]/43$	2,49 atividades
Atraso médio	$(0 + 2 + 2 + 0 + 23)/5$	5,4 horas
Máximo atraso	-	23 horas

**Resumo dos resultados**

## RESUMO

Regra de Seqüenciamento	Tempo médio de fluxo	Número médio de atividades no sistema	Atraso médio	Máximo atraso
FCFS	24,2	2,814	6,8	33
SPT	21,4	2,49	2,0	7
EDD	22,6	2,63	2,4	7
CR	25,4	2,49	5,4	23