

MARCO ANTONIO BORGES

AUMENTO DA PRODUTIVIDADE DE UMA
ENCADERNADORA DE LIVROS ATRAVÉS DO USO DE
FERRAMENTAS DA QUALIDADE

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

Orientador:

Prof. Dr. Gregório Bouer

São Paulo

2003

TF 2003
B 641a

“Um país se constrói com homens e livros”

Monteiro Lobato

AGRADECIMENTOS

Aos meus pais, pelo apoio incondicional durante todos os anos da minha formação.

À Fatima, por toda a ajuda, e por sempre acreditar no sucesso deste trabalho.

Ao professor Gregório, pela orientação.

RESUMO

Este trabalho apresenta um estudo conduzido com o objetivo de aumentar a produtividade de uma linha de encadernação de livros. É realizada uma profunda análise estatística à partir tanto de dados existentes na empresa quanto de informações coletadas pelo autor no chão-de-fábrica. É utilizada a metodologia do Controle Estatístico do Processo, que envolve as análises de estabilidade e capacidade do processo e a busca por causas assinaláveis e causas comuns de variação. São propostas uma série de ações de melhoria visando o aumento da produtividade da linha e são mostrados os resultados daquelas ações que já haviam sido implementadas quando da conclusão deste trabalho.

ABSTRACT

This work presents a study lead with the objective to increase the productivity of a bookbinding production line. A deep statistic analysis is carried out by the use of existing data in the company as well as information collected by the author in the factory. It is used the methodology of the Statistical Process Control, which involves the analyses of stability and capability of the process and searches for assignable and common sources of variation. A series of actions are proposed to increase the productivity of the production line and the results of those which had already been implemented when this work has been finished are described.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	1
1.1	O setor gráfico brasileiro.....	1
1.2	A empresa.....	5
1.3	O estágio.....	7
1.4	O problema.....	7
1.5	Resumo dos capítulos.....	8
2	REVISÃO DA LITERATURA.....	10
2.1	Produtividade, qualidade e variabilidade	10
2.2	Os fundamentos do Controle Estatístico do Processo.....	11
2.2.1	Folha de verificação	12
2.2.2	Histograma	12
2.2.3	Gráfico de Pareto.....	13
2.2.4	Diagrama de causa e efeito	13
2.2.5	Diagrama de dispersão	15
2.2.6	Gráfico de controle.....	16
2.3	Elaboração e uso de Gráficos de Controle	18
2.3.1	Gráfico de Controle para medidas individuais.....	20
2.3.2	Gráfico de Controle para fração defeituosa	21
2.3.3	Gráfico de Controle EWMA	23
2.4	Estudo da capacidade do processo	24
2.4.1	Índices de capacidade.....	25
2.5	Delineamento de Experimentos	29
2.5.1	Fatorial 2^k	30
2.6	Análise PFMEA	33

3	RESULTADO	39
3.1	Descrição do processo produtivo	39
3.1.1	Visão geral	39
3.1.2	A linha de encadernação de livros	48
3.2	Justificativa da escolha do objeto de estudo	52
3.3	OEE	53
3.4	Seis Grandes Perdas – Coleta preliminar de dados	58
3.4.1	Paradas ou Tempos Improdutivos	58
3.4.2	Ajustes / Acerto	59
3.4.3	Pequenas paradas	61
3.4.4	Baixa velocidade de operação	64
3.4.5	Perdas no acerto	65
3.4.6	Perdas durante a produção	66
3.5	Análise da estabilidade do processo	67
3.5.1	Tempo de ajuste / acerto	68
3.5.2	Velocidade de operação	70
3.5.3	Perdas no acerto	72
3.5.4	Perdas durante a produção	73
3.6	Busca de causas assinaláveis de variação	76
3.6.1	Velocidade de operação	76
3.7	Análise da capacidade do processo	85
3.7.1	Tempo de ajuste / acerto	85
3.7.2	Velocidade de operação	87
3.7.3	Perdas durante a produção	88
3.8	Busca de causas comuns de variação	90

3.8.1	Paradas ou tempos improdutivos	91
3.8.2	Ajustes / Acerto	92
3.8.3	Pequenas paradas	94
3.8.4	Baixa velocidade de operação	96
3.8.5	Perdas no acerto	100
3.8.6	Perdas durante a produção	100
3.9	Planejamento e implementação das ações de melhoria.....	102
3.9.1	Análise PFMEA	102
3.9.2	Descrição das ações implementadas	108
4	DISCUSSÃO	116
4.1	Benefícios obtidos.....	116
4.2	Próximos passos.....	118
4.2.1	Revisão das velocidades padrão.....	118
4.2.2	Elaboração de instrução de trabalho para a parada de máquina.....	119
4.2.3	Implementação de programa de Manutenção Autônoma.....	120
4.2.4	Implementação do Controle Estatístico do Processo (CEP)	123
4.2.5	Cronograma de implementação das ações de melhoria propostas....	123
5	CONCLUSÕES	125
6	ANEXOS	126
6.1	Anexo A – Folha de verificação para a Amostragem do Trabalho.....	127
6.2	Anexo B – Folha de verificação para a determinação da fração defeituosa (p)	128
6.3	Anexo C – Dados coletados para o Delineamento de Experimentos.....	129
6.4	Anexo D – Folha de verificação para a coleta de dados sobre velocidade de operação e não-conformidades.....	131

LISTA DE REFERÊNCIAS

GLOSSÁRIO

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Valores mínimos para C_P , C_{Pu} e C_{Pl} para processos existentes.....	26
Tabela 2 - Tabela de contrastes para o fatorial 2^3	30
Tabela 3 - Escala para a atribuição do índice de severidade (SEV).....	37
Tabela 4 - Escala para a atribuição do índice de ocorrência (OCOR).	37
Tabela 5 - Escala para a atribuição do índice de detecção (DET).	38
Tabela 6 - As Seis Grandes Perdas.	57
Tabela 7 - Pequenas Paradas: resultados da Amostragem do Trabalho.....	63
Tabela 8 - Perdas durante o acerto / ajuste da máquina.	65
Tabela 9 – Coleta de dados – fração defeituosa durante a produção (p).....	68
Tabela 10 – Fatores e níveis utilizados no Delineamento de Experimentos para a análise da velocidade de operação da linha de produção.	77
Tabela 11 - Planilha e dados utilizados no Delineamento de Experimentos.	78
Tabela 12 - Análise de variância no Delineamento de Experimentos.	78
Tabela 13 – Estratificação dos produtos.	80
Tabela 14 - Resumo dos parâmetros dos Gráficos de Controle.....	84
Tabela 15 – Limites de especificação para a velocidade de operação.	87
Tabela 16 - Velocidade de operação: índice de capacidade em função do grupo de produtos.....	88
Tabela 17 - Perdas durante a produção: índice de capacidade.....	89
Tabela 18 - Velocidade ajustada de operação.	97
Tabela 19 - Não conformidades na linha de encadernação de livros.....	101
Tabela 20 - Velocidades de operação (em livros por hora).	119
Tabela 21 - Proposta de velocidades padrão de operação (em livros por hora).....	119

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Número de estabelecimentos e de empregados por porte empresarial em 2002.....	1
Figura 2 - Participação no faturamento por segmento em 2002.	3
Figura 3 - Evolução da produção de livros.	4
Figura 4 - Evolução do índice médio de atividade do setor gráfico.....	4
Figura 5 - Organograma resumido da fábrica.	6
Figura 6 - Metodologia Seis Sigma para a melhoria de processos.	10
Figura 7 - Representação esquemática do diagrama de causa e efeito.	14
Figura 8 – Elementos de um Gráfico de Controle.	17
Figura 9 - Modelo para a melhoria do processo através do uso do Gráfico de Controle.....	18
Figura 10 - Etapas para o Controle Estatístico do Processo.....	28
Figura 11 - Planilha para os cálculos do Delineamento de Experimentos, com indicação da forma de cálculo dos contrastes.	31
Figura 12 - Planilha para a análise de variância do fatorial 2^3	33
Figura 13 - Visão geral da metodologia de análise PFMEA.....	36
Figura 14 - Planilha usada na análise PFMEA.....	36
Figura 15 - Representação esquemática de uma unidade impressora de impressora offset.....	42
Figura 16 - Exemplo de esquema de montagem de um caderno de 16 páginas.....	42
Figura 17 - Tipos de acabamento para livros.	45
Figura 18 - Fluxograma do processo de produção de livros.	46
Figura 19 - Arranjo físico esquemático da gráfica (sem escala).....	47
Figura 20 - Arranjo físico das máquinas e localização dos postos de trabalho na linha de encadernação de livros.	50

Figura 21 - Fluxograma das operações da linha de encadernação de livros.	51
Figura 22 - Taxas de utilização dos três processos de acabamento de livros.	52
Figura 23 - Tempos utilizados no cálculo do OEE.	55
Figura 24 - Dados históricos do OEE, ID, IE e IQ da linha de encadernação de livros.	56
Figura 25 - Análise de Pareto dos tempos improdutivos.	59
Figura 26 - Histograma com os tempos de acerto, primeiro semestre de 2003.	60
Figura 27 - Teste de aderência à distribuição normal dos valores de tempo de acerto.	61
Figura 28 - Quantidade necessária de observações na amostragem do trabalho em função do nível de erro.....	63
Figura 29 - Pequenas Paradas: análise de Pareto.	64
Figura 30 - Histograma com as perdas durante o acerto.	66
Figura 31 - Perdas no acerto – análise da aderência à distribuição normal.	66
Figura 32 - Gráfico de Controle tipo EWMA para os tempos de acerto da linha de produção – primeiro semestre de 2003.	69
Figura 33 - Verificação da aderência dos valores amostrais do IE à distribuição normal de probabilidade.....	70
Figura 34 - Gráfico de Controle para a amplitude móvel (MR).	71
Figura 35 - Gráfico de Controle para os valores individuais do IE.	71
Figura 36 - Perdas no acerto – Gráfico de Controle tipo EWMA.....	73
Figura 37 - Verificação da aderência dos valores amostrais da fração defeituosa (p) à distribuição normal de probabilidade.....	74
Figura 38 - Gráfico de Controle para a fração defeituosa (p).	75
Figura 39 - Gráfico de Controle para a fração defeituosa (p) após a eliminação do ponto fora de controle.	75
Figura 40 - Análise de resíduos do modelo de regressão.....	79

Figura 41 - GC para a amplitude móvel – Grupo I.	80
Figura 42 - GC para os valores individuais – Grupo I.	81
Figura 43 - GC para a amplitude móvel – Grupo II.	81
Figura 44 - GC para os valores individuais – Grupo II.	82
Figura 45 - GC para a amplitude móvel – Grupo III.	82
Figura 46 - GC para os valores individuais – Grupo III.	83
Figura 47 - GC para a amplitude móvel – Grupo IV.	83
Figura 48 - GC para os valores individuais – Grupo IV.	84
Figura 49 - Histograma da variável x^* , obtida pela transformação inversa da variável ‘tempo de ajuste / acerto’.	86
Figura 50 - Diagrama de causa e efeito com as Seis Grandes Perdas que afetam o OEE.	91
Figura 51 - Diagrama de causa e efeito para as paradas ou tempos improdutivos. ...	91
Figura 52 - Análise do acerto da linha de encadernação de livros.	93
Figura 53 - Análise de Pareto das pequenas paradas.	94
Figura 54 - Diagrama de causa e efeito para as pequenas paradas.	95
Figura 55 - Diagrama de causa e efeito para os problemas na máquina M4.	96
Figura 56 - Histograma – velocidade ajustada de operação.	98
Figura 57 - Histograma – velocidade ajustada de operação – livros capa dura.	98
Figura 58 - Velocidade ajustada de operação – livros com formato pé-cabeça ≤ 224 mm.	99
Figura 59 - Velocidade ajustada de operação – livros com formato pé-cabeça > 224 mm.	99
Figura 60 - Análise de Pareto das não conformidades na linha de encadernação de livros.	101

Figura 61 - Diagrama de causa e efeito para as perdas por problemas de qualidade durante a produção.	102
Figura 62 - Análise PFMEA do processo de encadernação de livros.	107
Figura 63 - Painel do sistema de gestão à vista.	111
Figura 64 - Evolução das paradas causadas por refeição ou lanche dos operadores.	112
Figura 65 - Evolução das paradas devido à realização de retrabalho manual.	114
Figura 66 - Evolução das paradas devido a esperas.	115
Figura 67 - Evolução dos índices de disponibilidade, eficiência, qualidade e OEE no ano de 2003.	117
Figura 68 – Cronograma para a implementação das ações de melhoria propostas..	124

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

5S	Conjunto de práticas do Programa de Qualidade Total visando a melhoria do ambiente de trabalho, baseadas nas cinco palavras japonesas: <i>seiri</i> (seleção), <i>seiton</i> (ordenação), <i>seisoh</i> (limpeza), <i>seiketsu</i> (padronização) e <i>shitsuke</i> (disciplina)
ABIGRAF	Associação Brasileira da Indústria Gráfica
BNDES	Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social
CBL	Câmara Brasileira do Livro
CEP	Controle Estatístico do Processo
DET	Índice de detecção do PFMEA
DEX	Delineamento de Experimentos
eq.	Equação
eqs.	Equações
EWMA	<i>Exponentially Weighed Moving Average</i> (um tipo de gráfico de controle)
FCAV	Fundação Carlos Alberto Vanzolini
FMEA	<i>Failure Mode and Effects Analysis</i>
FNDE	Fundo Nacional de Desenvolvimento da Educação
GC	Gráfico de Controle
ID	Índice de Disponibilidade
IE	Índice de Eficiência
JIS	<i>Japanese Industrial Standards</i>
IQ	Índice de Qualidade
LC	Linha Central
LIC	Limite Inferior de Controle

LSC	Limite Superior de Controle
M1 a M5	Máquina 1 a Máquina 5 da linha de encadernação de livros
máq.	Máquina
MR	<i>Moving range</i>
NPR	Número de Prioridade de Risco
OCOR	Índice de ocorrência do PFMEA
OEE	Overall Equipment Efficiency
OP	Ordem de Produção
Op.	Operador
PC	Dimensão pé-cabeça do livro
PCP	Programação e Controle da Produção
PFMEA	FMEA de processo
PIB	Produto Interno Bruto
PPN	Papel de Probabilidade Normal
PUR	<i>Polyurethane Reactive</i> (tipo de adesivo usado na encadernação)
SEV	Índice de severidade do PFMEA
TDO	Tempo Disponível para a Operação
TDR	Tempo Disponível Real
TDT	Tempo Disponível Teórico
TLO	Tempo Líquido de Operação
TPM	<i>Total Productive Maintenance</i>
TUO	Tempo Útil de Operação

LISTA DE SÍMBOLOS

C_p	Índice de capacidade
C_{PK}	Índice de capacidade que leva em consideração a centralização da média
C_{Pl}	Índice de capacidade usado quando existe apenas LIE
C_{Pu}	Índice de capacidade usado quando existe apenas LSE
D	Número de defeitos na amostra
d_2	Constante usada no Gráfico de Controle para variáveis – valores individuais
D_3	Constante usada no Gráfico de Controle para variáveis – valores individuais
D_4	Constante usada no Gráfico de Controle para variáveis – valores individuais
F	Probabilidade na distribuição F
k	Número de fatores no DEX
L	Largura do GC tipo EWMA, em desvios padrões
LIC^*	Valor obtido pela transformação inversa do LIC
LSC^*	Valor obtido pela transformação inversa do LSC
m	Número de amostras coletadas
MS	<i>Mean Square</i> (Quadrado Médio)
n	Tamanho da amostra; número de replicações no DEX
p	fração defeituosa na população
\bar{p}	Fração defeituosa amostral média
\hat{p}	Fração defeituosa amostral

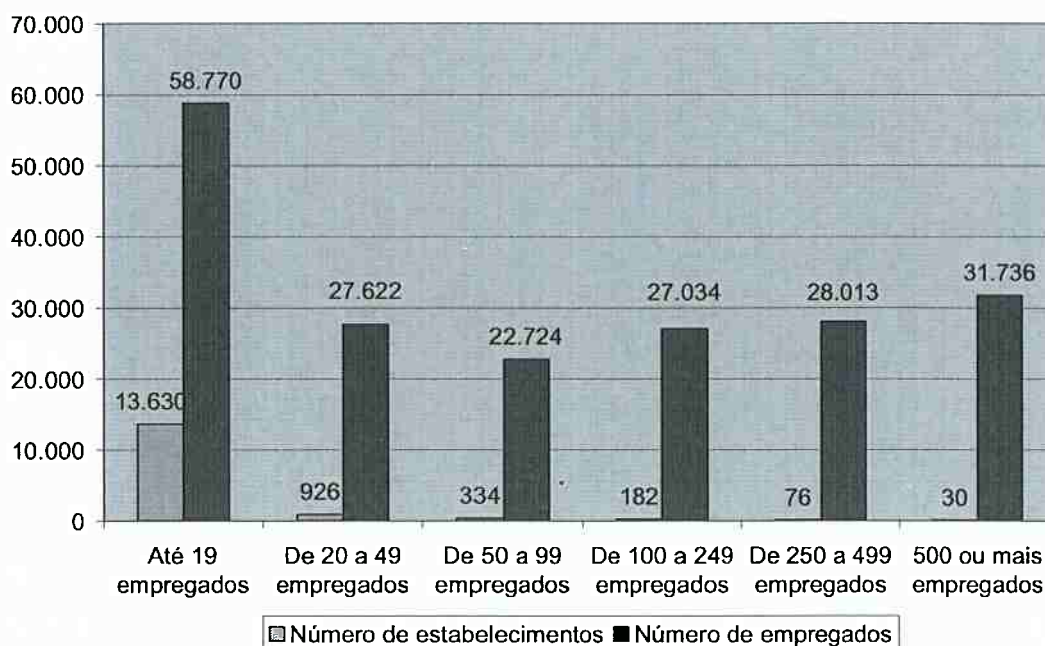
r	Coeficiente de correlação
R	Amplitude
SS	Soma de quadrados
\overline{x}	Média amostral
x^*	Valor obtido pela transformação inversa de x
\hat{y}	Valor estimado da variável resposta à partir do modelo de regressão
z	Variável de controle no GC tipo EWMA; distância em desvios padrões na distribuição normal reduzida
α	Coeficiente da equação de regressão; nível de significância
β	Coeficiente da equação de regressão
λ	Constante de ponderação do GC tipo EWMA
μ	Média populacional
ν	Número de graus de liberdade
σ	Desvio padrão
$\hat{\sigma}$	Estimativa do desvio padrão

1 INTRODUÇÃO

Neste capítulo é feita a apresentação do trabalho, iniciada por um panorama do setor gráfico brasileiro, seguida pela descrição da empresa na qual foi desenvolvido o trabalho, as condições do estágio, a descrição do problema estudado, os objetivos do estudo e sua importância para esta organização. São também explicados sucintamente os capítulos seguintes.

1.1 O setor gráfico brasileiro

Segundo o Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social (BNDES) (1997), a indústria gráfica no Brasil compreende uma gama variada de empresas, abrangendo desde pequenos estabelecimentos até empresas com estruturas e processos produtivos tipicamente industriais. O número de empresas e de funcionários por porte de estabelecimento é apresentado na Figura 1.



Fonte: ABIGRAF (2003).

Figura 1 - Número de estabelecimentos e de empregados por porte empresarial em 2002.

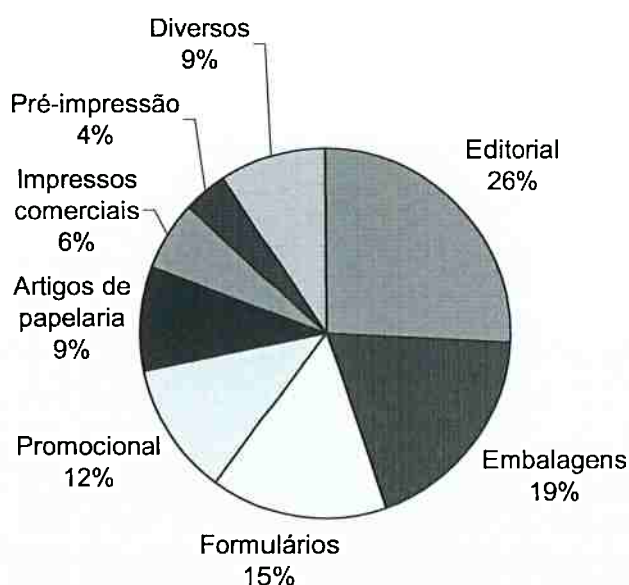
As gráficas, em função das características de seus produtos finais, podem ser divididas em oito segmentos:

- Embalagens: compreende a impressão de cartuchos, caixas, rótulos e outras embalagens;
- Editorial: abrange a edição e impressão de livros, revistas e periódicos;
- Formulários: planos ou contínuos;
- Promocional: inclui posters, cartazes, catálogos e volantes, principalmente;
- Artigos de Papelaria: incluindo papel para carta e formulários oficiais;
- Pré-impressão: compreende a criação e o desenvolvimento de mídia impressa;
- Impressos Comerciais: abrange, entre outros, talonários, agendas e cartões postais;
- Diversos: inclui baralhos, produtos para festas como copos, pratos e guardanapos, papel de presente, cardápios, brinquedos, etc.

Em 2002, o faturamento total do setor gráfico foi de R\$ 12,92 bilhões, representando 1,0% do PIB brasileiro e 2,76% do PIB industrial. A maior participação neste faturamento foi a do segmento editorial, conforme demonstrado na Figura 2.

De acordo com a Associação Brasileira da Indústria Gráfica (ABIGRAF) (2002), o setor gráfico é muito concentrado geograficamente na região Sudeste, que possuía, em 2001, 58,7% dos estabelecimentos e 66,3% dos empregados do setor. Neste ano, Estado de São Paulo era responsável por 36,3% das indústrias gráficas e por 45,6% dos empregados. Existe porém uma tendência à desregionalização, principalmente entre as gráficas de médio e grande porte, que passam a oferecer seus serviços em outros estados, aperfeiçoando a logística de distribuição de seus produtos ou ampliando seus pólos industriais.

O segmento editorial vem apresentando resultados positivos nos últimos anos, impulsionado pelas compras de livros didáticos pelo governo federal, através do FNDE – Fundo Nacional de Desenvolvimento da Educação, pelo sucesso editorial de alguns títulos, pela intensificação dos esforços de divulgação junto aos pontos de venda e pelas crescentes exigências do mercado, que têm levado a um aumento na necessidade de formação e atualização profissional. A produção anual de livros nos últimos seis anos é apresentada na Figura 3.



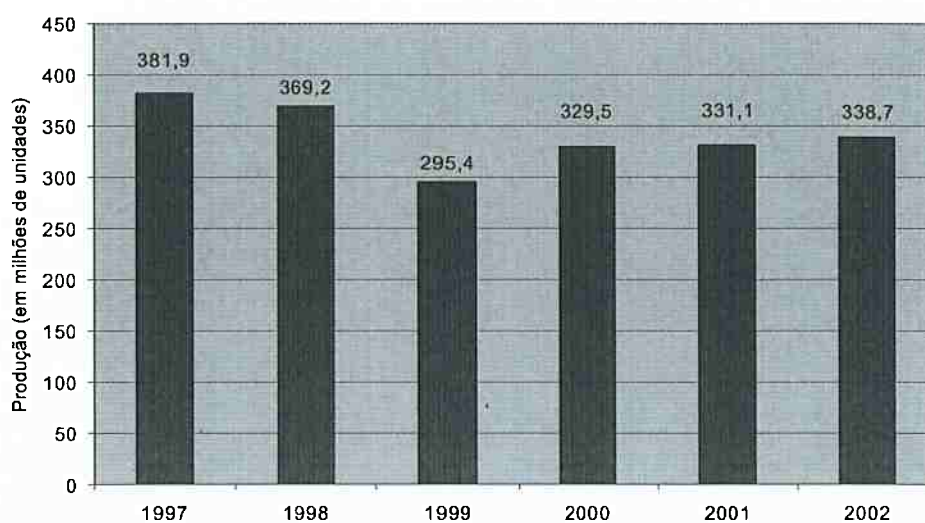
Fonte: ABIGRAF (2003).

Figura 2 - Participação no faturamento por segmento em 2002.

Apesar disso, o Brasil apresenta um baixo consumo de livros per capita, estimado em 2,5 livros/habitante x ano.

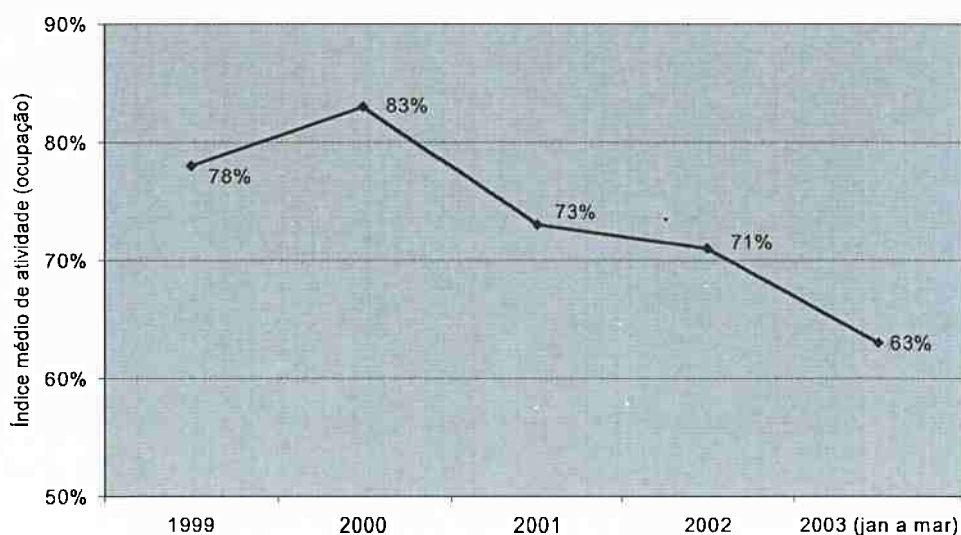
O setor gráfico recebeu maciços investimentos entre 1994 e 1998, investimentos estes que se encontram reduzidos atualmente devido à desvalorização cambial e às incertezas quanto aos rumos da economia. Como o crescimento econômico não foi o esperado, grande parte destes investimentos transformou-se em capacidade ociosa, conforme demonstra a Figura 4.

Diante de fatos negativos tais como a concorrência com novas mídias, a queda nas verbas publicitárias em jornais e revistas e a redução no volume de livros comprados no governo federal, as empresas do setor gráfico vêm repensando sua estrutura, na busca de maior produtividade. Esta meta é alcançada não somente através de novas tecnologias mas, principalmente, pela reciclagem dos seus empregados.



Fonte: CBL (2003).

Figura 3 - Evolução da produção de livros.



Fonte: ABIGRAF (2003).

Figura 4 - Evolução do índice médio de atividade do setor gráfico.

Segundo Esnal (1999), nos últimos anos, o setor gráfico assistiu à chegada de grandes grupos multinacionais, tais como Donnelley, Quebecor, Quad/Graphics e Cochrane. Com isto, ocorreu um aumento da competitividade das indústrias do setor, às custas do fechamento daquelas menos eficientes.

O setor registrou forte acirramento da concorrência, com conseqüente redução das margens. As empresas mais bem estruturadas e competitivas, com maior capacidade de negociação, ampliaram sua participação no mercado, enquanto as outras registraram queda no faturamento.

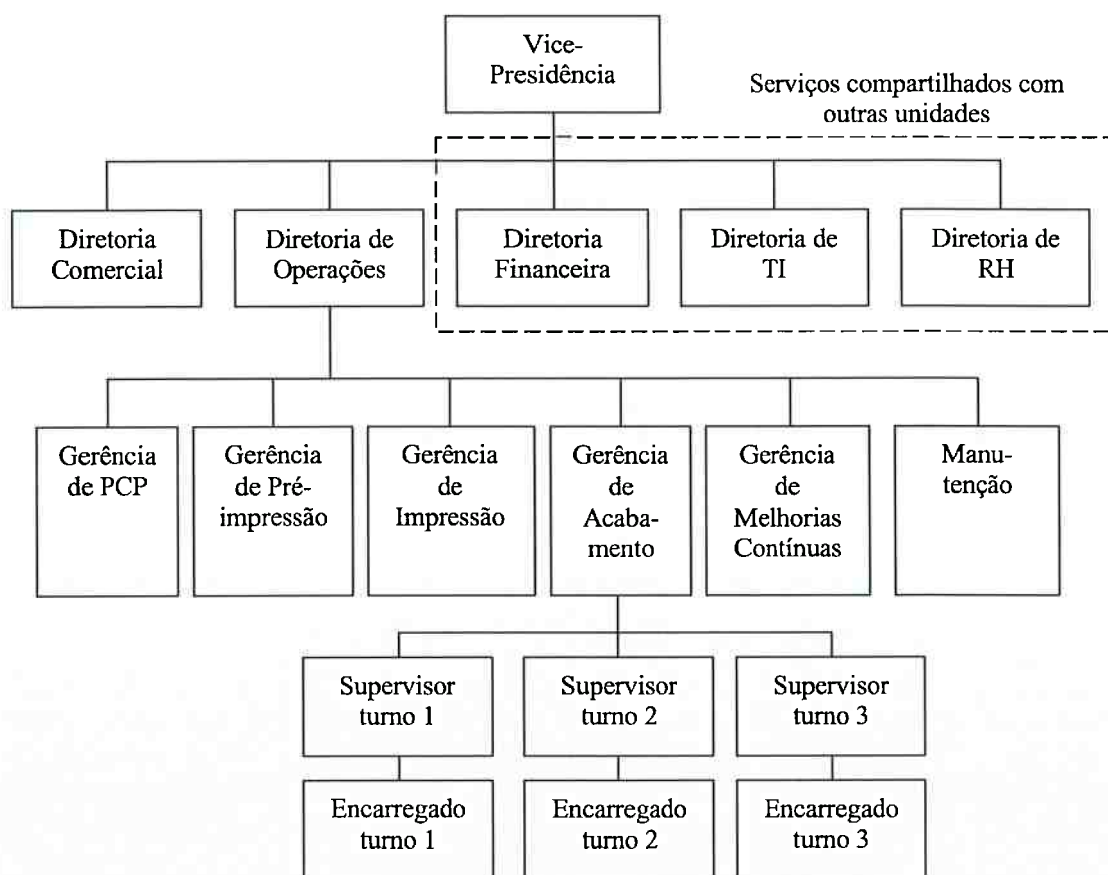
1.2 A empresa

Este trabalho foi desenvolvido em uma indústria gráfica de grande porte do segmento editorial. Esta gráfica produz livros diversos (arte, religiosos, didáticos, paradidáticos, infanto-juvenis, de comércio e negócios, publicações técnicas, científicas e profissionais).

Esta fábrica conta com aproximadamente 500 funcionários e produz mais de 4 milhões de livros mensalmente, posicionando-se como uma das empresas líderes no mercado gráfico nacional. O organograma resumido da fábrica é apresentado na Figura 5.

Os principais clientes da gráfica são companhias editoras, que a procuram para imprimir seus títulos, sendo que a empresa atua junto às principais editoras do Brasil. Os serviços podem ser também encomendados por outras empresas, tais como universidades que buscam a gráfica para imprimir seus manuais para o vestibular ou indústrias que recorrem à gráfica para a impressão dos manuais de instrução dos seus produtos.

O sistema produtivo da gráfica é intermitente sob encomenda, já que cada título é diferente dos demais quanto ao conteúdo, capa, dimensões, etc. A tiragem típica de cada título é de 10.000 exemplares, porém alguns títulos chegam a ter tiragem superior a 100.000 exemplares.



Elaborado pelo autor.

Figura 5 - Organograma resumido da fábrica.

A fábrica divide-se em três grandes setores: pré-impressão, impressão e acabamento. A seguir é apresentada uma descrição sucinta de cada um deles, sendo que mais detalhes podem ser encontrados nas seções 3.1.1 e 3.1.2 deste trabalho.

- **Pré-impressão**

Na pré-impressão, os arquivos e fotolitos recebidos do cliente são tratados, conferidos e transferidos para as chapas de impressão. Existem dois tipos de pré-impressão: convencional e digital. Na pré-impressão convencional, o editor envia fotolitos do conteúdo do livro e estes são transferidos para as chapas de impressão através de processo fotográfico, com o uso de radiação ultravioleta.

No processo de pré-impressão digital, a gráfica recebe do editor o conteúdo do livro em arquivos digitais, os processa eletronicamente e os transfere para chapas de impressão termosensíveis através do uso de equipamentos computadorizados.

- **Impressão**

O setor de impressão utiliza as chapas produzidas na pré-impressão para a impressão do livro através do sistema offset. A gráfica possui diversas impressoras, divididas em duas categorias: planas e rotativas.

- **Acabamento**

O setor de acabamento executa as atividades de montagem das capas (duras e flexíveis), encadernação e embalagem dos livros. Neste setor também são feitos trabalhos manuais diversos, tais como a colocação de sobre capas, encartes, etc., além da seleção e retrabalho dos livros defeituosos.

1.3 O estágio

O autor atuou como estagiário junto à Gerência de Acabamento à partir de abril de 2003. O estágio desenvolveu-se no ambiente fabril, com livre acesso a todos os processos produtivos. Isto, aliado à convivência diária com os operadores, supervisores e engenheiros de processo permitiu ao autor desenvolver um conhecimento profundo dos processos produtivos da fábrica, fundamental para o entendimento dos atributos de qualidade dos produtos e dos fatores que têm influência sobre eles.

A carga horária de estágio foi de 30 horas semanais, em horário comercial, respeitando-se as atividades acadêmicas do autor.

1.4 O problema

Quando do início do estágio, a empresa estava adotando um programa de melhorias contínuas na fábrica. Este programa consistia no uso de ferramentas de qualidade para o aumento da produtividade das máquinas. Esta era uma questão vital para a organização, uma vez que os índices de eficiência global dos seus

equipamentos (OEE) eram bastante baixos, como resultado de paradas constantes, operação a baixas velocidades e produção de produtos não conformes.

Esta foi a primeira vez que um projeto de melhoria foi adotado nos processos da fábrica, que já havia passado antes por um programa de 5S. O autor atuou junto à equipe deste projeto de melhoria desde o início dos trabalhos, participando ativamente de todas as etapas, incluindo coleta e análise de dados e reuniões com a equipe de operadores.

Além do aumento da produtividade, outro objetivo deste projeto foi a redução das variabilidades nos processos da fábrica, como forma de conferir a estes estabilidade, visando a posterior implantação de outros programas de qualidade, tais como Seis Sigma.

Este programa foi primeiramente adotado, de forma experimental, em uma linha de encadernação de livros, sendo que este trabalho tem como base este projeto piloto.

1.5 Resumo dos capítulos

O Capítulo 1 consiste nesta introdução, que apresenta uma visão do setor gráfico brasileiro, a empresa onde o trabalho foi realizado, a descrição do problema tratado e as condições em que foi desenvolvido o estágio.

No Capítulo 2 é feita uma revisão da literatura pertinente ao tema abordado, com a descrição das idéias de alguns dos principais autores da área. Neste capítulo é feita uma descrição das ferramentas estatísticas utilizadas neste trabalho.

Os resultados obtidos encontram-se no Capítulo 3, dispostos na seqüência do seu desenvolvimento. Primeiramente, é feita uma descrição do processo produtivo geral da gráfica e do processo de encadernação de livros em particular, objeto de estudo deste trabalho. Em seguida, é apresentada a justificativa para a escolha desta linha de encadernação como objeto de estudo. O capítulo segue com a apresentação dos dados coletados, tanto pela consulta a dados existentes na empresa quanto através de coletas feitas no chão-de-fábrica pelo autor. Em seguida, são apresentadas as análises de estabilidade e capacidade das variáveis chaves do processo, dentro dos

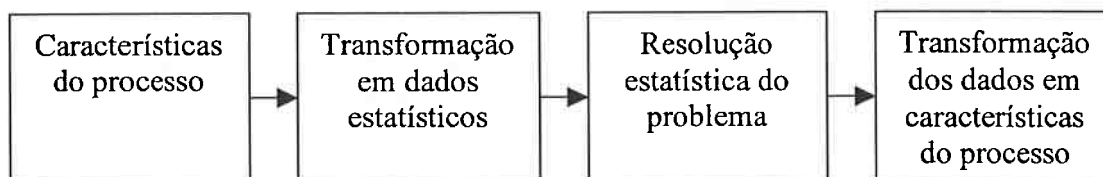
moldes do Controle Estatístico do Processo. As ações de melhoria propostas são apresentadas no final deste capítulo.

Os resultados obtidos pela implementação de algumas das ações de melhoria propostas são apresentados e discutidos no Capítulo 4. Neste capítulo são também descritas as ações de melhoria a serem adotadas no futuro, sendo apresentado um cronograma para a sua implementação.

O Capítulo 5 fecha este trabalho, apresentando as conclusões extraídas das análises realizadas e dos resultados obtidos.

2 REVISÃO DA LITERATURA

Neste capítulo são apresentadas as ferramentas utilizadas para a melhoria de processos. Estas ferramentas estão baseadas em métodos estatísticos, que são os mais adequados para entender e atuar sobre o processo produtivo, e inserem-se dentro da metodologia Seis Sigma, esquematizada na Figura 6.



Fonte: Rotondaro (2002) p.76.

Figura 6 - Metodologia Seis Sigma para a melhoria de processos.

2.1 Produtividade, qualidade e variabilidade

Montgomery (2001) alerta para a existência de uma estreita relação entre produtividade e qualidade. As dimensões de um processo otimizado são: economia, eficiência, produtividade e qualidade. A melhoria da qualidade é um instrumento para o aumento da produtividade e para a redução dos custos de produção.

Este mesmo autor cita duas definições para qualidade. A primeira, tradicional:

Qualidade significa adequação ao uso.

e a segunda, mais moderna, que será adotada neste trabalho:

Qualidade é inversamente proporcional a variabilidade.

A redução da variabilidade é o fundamento para a melhoria do processo e pode ser obtida através de vários métodos, sendo o Controle Estatístico do Processo o mais conhecido.

2.2 Os fundamentos do Controle Estatístico do Processo

Kume (1993) afirma que a produção de itens não-conformes é inevitável em processos produtivos e é o resultado de variações ocorridas no mesmo. Estas variações têm inúmeras fontes, dentre as quais estão materiais, condições dos equipamentos, método de trabalho e de inspeção e meio ambiente.

Estas causas de variação são agrupadas em duas categorias: assinaláveis (ou especiais) e aleatórias (ou comuns). As variações devidas a causas assinaláveis ocorrem quando existem distúrbios significativos no processo, devido ao não cumprimento dos padrões de manufatura. Estas variações são evitáveis, devem ser investigadas e suas causas eliminadas.

As variações devidas a causas aleatórias são aquelas inerentes ao processo produtivo e ocorrem mesmo que os padrões de operação sejam seguidos.

Enquanto as variações devidas a causas assinaláveis, por serem em geral drásticas, recebem atenção imediata e têm prioridade na solução, consumindo grande parte do tempo da gerência de produção, as variações devidas a causas aleatórias, geralmente de menor dramaticidade, não recebem prioridade para solução, sendo aceitas como inevitáveis por virem ocorrendo a um longo tempo e serem de difícil tratamento. Esta situação, apontada por Juran (1980), é altamente prejudicial à empresa, uma vez que a eliminação das variações devidas às causas aleatórias tem o potencial de gerar grandes ganhos de qualidade e produtividade.

O Controle Estatístico do Processo (CEP) é uma metodologia adequada ao combate das causas de variação, assinaláveis e aleatórias, e utiliza as seguintes ferramentas:

- Folha de verificação
- Histograma
- Gráfico de Pareto
- Diagrama de causa e efeito
- Diagrama de dispersão

- Gráficos de controle

2.2.1 Folha de verificação

É um formulário utilizado na coleta de dados sobre o desempenho do processo. Uma vez que o processo de coleta de dados no chão de fábrica consome tempo considerável, é fundamental que seja feito de forma estruturada, o que é facilitado pelo uso de folhas de verificação.

É importante que os objetivos e usos dos dados sejam definidos antes da sua coleta, para que todos os dados necessários sejam coletados, permitindo a sua posterior análise. Devem ser anotadas informações que permitam a identificação do produto, da máquina, do operador, da data de coleta dos dados, do turno e de quaisquer outros fatores relevantes para as análises posteriores.

Um uso comum da folha de verificação é a coleta de informações sobre defeitos em produtos durante a produção. Neste caso, é conveniente que o formulário traga uma relação de todos os possíveis defeitos que o produto possa apresentar, para facilitar a sua contagem pelo inspetor durante a coleta de dados.

2.2.2 Histograma

É um gráfico de barras que permite a rápida visualização e análise de uma grande quantidade de dados. É utilizado principalmente para variáveis contínuas, ou seja, para aquelas variáveis que podem ser medidas em uma escala numérica. Os dados coletados são agrupados em classes de frequência e analisados quanto a três características: forma da distribuição, valor central e dispersão.

A forma do histograma fornece indícios sobre o tipo de distribuição de probabilidade da variável estudada, sendo comumente usado para verificar a hipótese de normalidade da distribuição. O valor central ou média é um indício de qual a tendência do processo. A dispersão mostra como e quanto os resultados oscilam em torno do valor central, ou seja, a variância dos valores amostrais.

2.2.3 Gráfico de Pareto¹

É um gráfico de barras usado para a visualização das categorias em ordem decrescente de importância. Permite a rápida identificação dos poucos problemas que geram as maiores perdas e é utilizado com variáveis discretas.

No Controle Estatístico do Processo o Gráfico de Pareto é utilizado tanto para identificar os principais efeitos das variações no processo (defeitos) quanto para a identificação das causas que respondem pela maior parte destas variações. É uma ferramenta importante para a priorização das ações visando à eliminação das causas de variação, permitindo que maiores esforços sejam dedicados às causas responsáveis pela maior parte dos efeitos.

2.2.4 Diagrama de causa e efeito

É uma ferramenta destinada à busca das causas potenciais (fatores) das variações indesejáveis de uma característica da qualidade. A JIS (*Japanese Industrial Standards*) apud Kume (1993) define o diagrama de causa e efeito como “um diagrama que mostra a relação entre uma característica da qualidade e os fatores.”

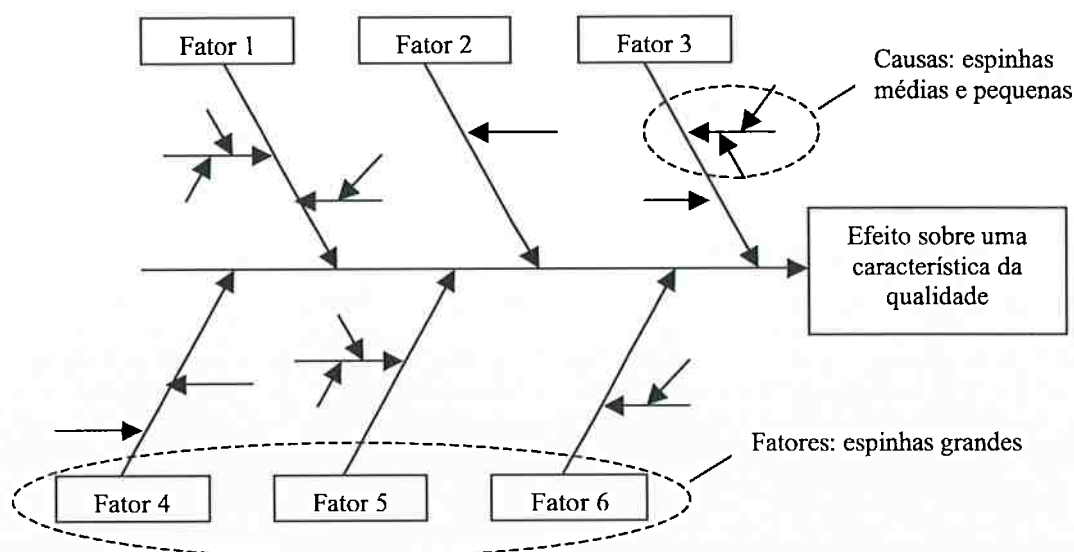
Segundo Rotondaro (2002), os passos para a construção desse diagrama são:

- Determinação do efeito. O efeito indesejável sobre a característica da qualidade é definido de forma objetiva e colocado dentro de um retângulo desenhado à direita no diagrama.
- Determinação dos fatores principais. Estes formam as ‘espinhas principais’ do diagrama. Para a sua busca, é conveniente recordar dos chamados 6 M’s: mão-de-obra, materiais ou componentes, máquinas ou equipamentos, métodos (procedimentos de operação ou controle), meio ambiente e medição (sistema de medição – os instrumentos e sua calibração).

¹ O nome deste gráfico é uma homenagem ao economista italiano Vilfredo Pareto (1848 – 1923) e deriva das suas análises da concentração da renda nas mãos de uma pequena parcela da população.

- Inclusão das causas. Estas formam os ramos menores do diagrama, as chamadas espinhas médias e pequenas, e unem-se às espinhas principais a que estão associadas.

A Figura 7 a seguir apresenta uma representação esquemática do diagrama de causa e efeito.



Elaborado pelo autor.

Figura 7 - Representação esquemática do diagrama de causa e efeito.

Alguns cuidados devem ser tomados durante a construção do diagrama:

- O diagrama deve ser elaborado e preenchido em equipe, composta pelos operadores e demais envolvidos no processo.
- A busca das causas deve, preferencialmente, ser feita seguindo a metodologia de *brainstorming* ou então através de “por quês” sucessivos, até se chegar às causas raízes do problema.
- Devem-se evitar os termos genéricos na descrição do problema, dos fatores principais e das causas, sob o risco do diagrama resultante ter pouca utilidade prática. Deve-se ser específico, com a indicação precisa das máquinas, produtos e materiais envolvidos.

- A característica da qualidade cuja variabilidade se deseja eliminar, assim como seus fatores de variação, devem ser mensuráveis. Caso não seja possível medi-los, outros equivalentes devem ser escolhidos.

O diagrama de causa e efeito favorece a expansão da visão do problema estudado, registrando o conhecimento dos participantes e focalizando as discussões para a elaboração da solução. Além disso, cria o envolvimento da equipe na solução do problema.

Ações corretivas devem ser elaboradas e implementadas para a eliminação das causas de variação detectadas, a começar por aquelas mais prováveis e que exerçam maior impacto sobre a característica da qualidade.

2.2.5 Diagrama de dispersão

É utilizado para estudar a relação entre duas variáveis. Estas variáveis podem ser: uma característica da qualidade e um fator, duas características da qualidade ou dois fatores de uma mesma característica da qualidade. Os dados devem ser emparelhados, sendo este par comumente designado por (x,y) , sendo x a variável independente e y a variável dependente.

O diagrama é construído colocando-se cada uma das variáveis em um dos eixos e anotando-se os pontos referentes às observações sobre o gráfico.

O diagrama resultante permite a análise visual da relação entre as duas variáveis, e a verificação da existência (ou não) de correlação entre elas. A correlação pode ser de dois tipos: positiva, quando as variáveis são diretamente proporcionais, ou negativa, quando são inversamente proporcionais.

Uma outra forma para determinar a existência de correlação entre duas variáveis é através do cálculo do coeficiente de correlação ($-1 \leq r \leq 1$), e da equação de regressão, que descreve a reta que melhor se ajusta aos pontos do gráfico. Um valor do coeficiente de correlação próximo a 1 indica uma forte correlação positiva; um valor próximo a -1 indica forte correlação negativa e um valor intermediário indica correlação fraca ou inexistente.

A equação de regressão tem a forma:

$$y = \alpha x + \beta \quad (1)$$

onde y é valor da variável dependente, x o valor da variável independente, e os coeficientes α e β são obtidos pelo método dos mínimos quadrados. Muitas calculadoras científicas e softwares de planilha eletrônica (ex.: Microsoft Excel) calculam a equação de regressão e o coeficiente de correlação.

É preciso atentar para o fato de que correlação não significa necessariamente relação de causa e efeito. Pode ocorrer também de, ao se estratificar os pontos do gráfico (por máquina, por turno, por fornecedor, etc.), desmentirem-se ou revelarem-se correlações verificadas (ou não) nos dados totais.

As escalas dos eixos do diagrama de dispersão podem influir na percepção visual de correlação entre as variáveis, ocultando correlações existentes ou mostrando correlações inexistentes. Para evitar este problema, Kume (1993) recomenda que as escalas sejam escolhidas de forma que os dois eixos tenham aproximadamente o mesmo comprimento.

2.2.6 Gráfico de controle

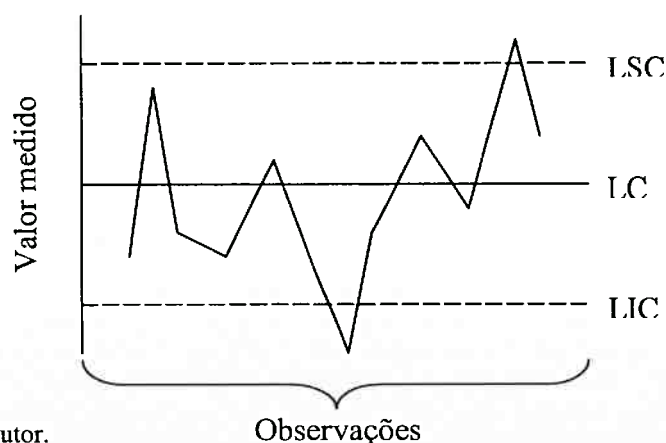
O Gráfico de Controle (GC) é a principal ferramenta do Controle Estatístico do Processo. Seu maior objetivo é detectar rapidamente a ocorrência de causas assinaláveis de variação no processo, permitindo a tomada das ações corretivas necessárias para a sua eliminação. Conforme Montgomery (2001), alguns dos outros objetivos do GC são:

- estimar os parâmetros do processo (valor médio e variância);
- determinar a capacidade do processo;
- melhorar o processo; e
- eliminar a variabilidade do processo, ou reduzi-la o quanto possível.

O GC deve representar apenas as variações aleatórias do processo, portanto as possíveis causas assinaláveis de variação devem ser identificadas e gráficos

separados devem ser elaborados para subgrupos distintos (ex.: máquinas, produtos, turnos, fornecedores, etc.), de forma a isolar o efeito de tais causas assinaláveis.

Os elementos principais do GC são: linha central (LC), limite superior de controle (LSC) e limite inferior de controle (LIC). Estes elementos estão representados na Figura 8.



Elaborado pelo autor.

Figura 8 – Elementos de um Gráfico de Controle.

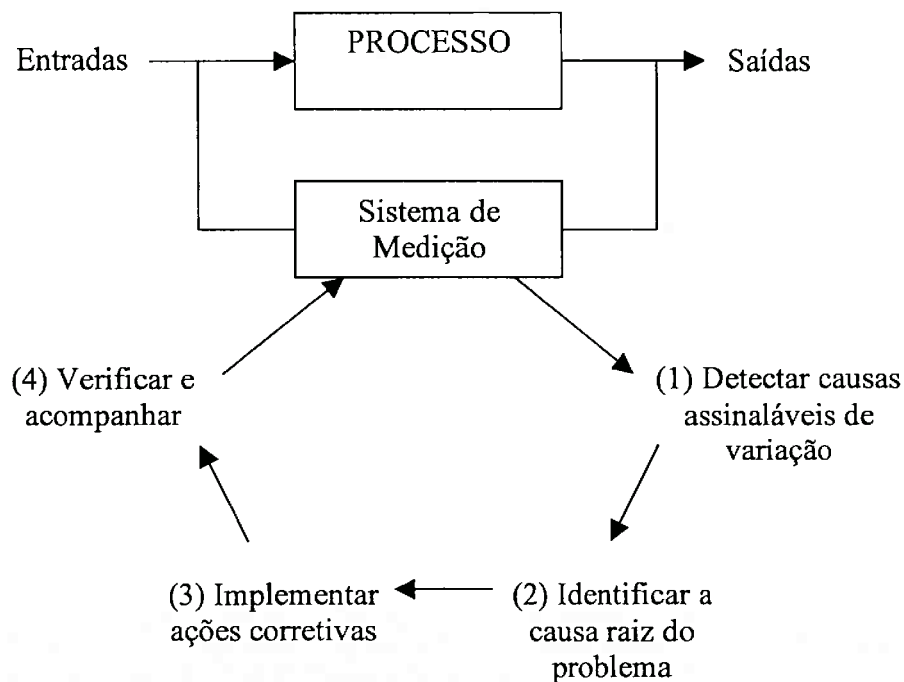
O processo é dito sob controle estatístico quando todos os pontos observados estão dentro dos limites delimitados pelo LIC e pelo LSC, e fora de controle caso contrário. Outras situações também são indícios de que o processo pode estar fora de controle: seqüências de pontos sucessivos de um mesmo lado da LC, tendência crescente ou decrescente, muitos pontos próximos dos limites de controle ou da LC ou periodicidade.

Montgomery (2001) propõe uma metodologia para a melhoria do processo através do uso do GC, esquematizada na Figura 9.

O GC é usado em dois momentos:

- durante a análise do processo, onde são identificadas as causas assinaláveis de variação da característica da qualidade e ações corretivas são implementadas para a sua eliminação; e
- no posterior controle do processo, verificando-se a estabilidade do mesmo.

A próxima seção detalha a elaboração e uso do Gráfico de Controle.



Adaptado de Montgomery (2001), p. 160.

Figura 9 - Modelo para a melhoria do processo através do uso do Gráfico de Controle.

2.3 Elaboração e uso de Gráficos de Controle

A construção e uso de Gráficos de Controle segue os seguintes passos:

- Coleta preliminar de dados (pelo menos 20 amostras).
- Estimativa da LC, LSC e LIC.
- Verificação da estabilidade do processo.
 - Se todos os pontos estiverem dentro dos limites de controle, e não existirem indícios de não-aleatoriedade nos dados, conclui-se que o processo está estável e tornam-se estes limites definitivos.
 - Se um ou mais pontos caírem fora dos limites de controle, procuram-se causas assinaláveis que os justifiquem. Caso sejam encontradas, eliminam-se estes pontos e recalculam-se a LC, LSC e LIC. Repete-se este processo até que todos os pontos remanescentes caiam dentro dos

limites de controle. É permitido eliminar-se pontos fora de controle mesmo que causas assinaláveis não sejam encontradas, na suposição de que existam.

- Revisão periódica da LC, LSC e LIC (semanal, mensal, após a coleta de um número fixo de amostras, etc.).
- Monitoramento do processo. É feito depois que limites de controle confiáveis tenham sido estabelecidos.

Existem duas categorias de Gráficos de Controle: GC para variáveis contínuas e GC para atributos. Variáveis contínuas são características que podem assumir valores em uma escala numérica como, por exemplo, comprimento, diâmetro, massa ou velocidade. Atributos assumem apenas valores discretos, tais como conforme ou não conforme.

A seguir, são listados os tipos de Gráficos de Controle de Shewhart:

Variáveis contínuas	$\bar{x} - R$ (média e amplitude) x (valor individual)
Atributos	pn (número de itens defeituosos) p (fração defeituosa) c (número de defeitos) u (número de defeitos por unidade)

Neste trabalho são utilizados dois tipos de GC de Shewhart, um para variáveis ($\bar{x} - R$ valores individuais) e outro para atributos (p – fração defeituosa). Para as variáveis que não seguem a distribuição normal de probabilidade é utilizado o GC tipo EWMA. A construção e o uso de cada um destes gráficos são detalhados a seguir.

2.3.1 Gráfico de Controle para medidas individuais

Este gráfico é usado quando não é possível ou conveniente realizar diversas medidas em uma mesma amostra. A variabilidade do processo é estimada à partir da amplitude móvel (MR). Para o caso de uso de duas medidas sucessivas ($n=2$), a MR é calculada como segue:

$$MR_i = |x_i - x_{i-1}| \quad (2)$$

São criados dois gráficos de controle, um para o valor médio e outro para a amplitude móvel. As equações utilizadas na construção destes gráficos de controle são as seguintes:

Gráfico para a MR	$LC = \overline{MR}$	(3)
	$LSC = D_4 \overline{MR}$	(4)
	$LIC = D_3 \overline{MR}$	(5)
Gráfico para \bar{x}	$LC = \bar{\bar{x}}$	(6)
	$LSC = \bar{\bar{x}} + 3 \frac{\overline{MR}}{d_2}$	(7)
	$LIC = \bar{\bar{x}} - 3 \frac{\overline{MR}}{d_2}$	(8)

Nas eqs. (4), (5), (7) e (8), d_2 , D_3 e D_4 são fatores que variam em função de n (número de medidas usadas no cálculo da MR) e podem ser obtidos em referências tais como Ramos e Montgomery (2001).

É necessário verificar se os valores amostrais seguem a distribuição normal de probabilidade, pois este GC é muito sensível à não-normalidade nos dados. Esta verificação pode ser feita através do uso de histogramas, de testes de aderência ou do uso de gráficos em papel de probabilidade normal (PPN).

Caso o processo esteja sob controle, é possível estimar o desvio padrão (σ) da variável através da seguinte equação:

$$\hat{\sigma} = \frac{\overline{MR}}{d_2} \quad (9)$$

2.3.2 Gráfico de Controle para fração defeituosa

Rotondaro (2002) define alguns termos úteis para o entendimento deste gráfico:

- Defeito: é qualquer não conformidade às especificações.
- Unidade: é a saída do processo a ser avaliada quanto a defeitos.
- Defeituoso: é a unidade com um ou mais defeitos.
- Oportunidades: são as formas de variação do processo, que geram defeitos. Em outras palavras, são os diferentes tipos de defeitos que uma unidade pode apresentar.

A seguir, são descritos os passos para a construção do GC para fração defeituosa (p):

1. Coleta preliminar de dados. Coletam-se m amostras ($m \geq 20$) de tamanho n . O tamanho da amostra deve ser tal que:

$$n\bar{p} > 5 \quad (10)$$

$$n(1 - \bar{p}) > 5 \quad (11)$$

Portanto, antes do início da coleta de dados, é necessário ter uma estimativa da fração defeituosa na população.

O correto planejamento da coleta de dados é fundamental para a sua posterior análise. Neste sentido, a sua estratificação é um fator a ser considerado. Segundo Montgomery (2001), a coleta de dados amostrais deve atender a dois objetivos:

- maximizar diferenças devidas a causas assinaláveis entre amostras;
e
- minimizar diferenças devidas a causas assinaláveis dentro de cada amostra.

Existem duas formas de coleta de amostras: unidades sucessivas e amostragem aleatória. No primeiro caso, coletam-se produtos fabricados sucessivamente, o que fornece uma “fotografia” instantânea das condições do processo. Este método de amostragem é utilizado com gráficos de controle e é recomendado quando se deseja detectar variações na média do processo.

Na amostragem aleatória, a amostra representa todos os produtos fabricados desde a última amostragem. Este método é usado quando o objetivo é aceitar ou rejeitar todo um lote. Deve-se tomar cuidado para não dilatar muito o intervalo entre amostragens, sob o risco de fazer o processo parecer sob controle quando na verdade não está, pois neste caso as variações na média ficariam diluídas dentro da amostra, dando a impressão de serem devidas a causas aleatórias.

2. Cálculo da fração defeituosa amostral:

$$\hat{p}_i = \frac{D_i}{n} \quad (12)$$

onde D_i é a quantidade de unidades defeituosas existentes na amostra.

3. Cálculo da fração defeituosa média:

$$\bar{p} = \frac{\sum_{i=1}^m \hat{p}_i}{m} \quad (13)$$

4. Cálculo da LC, LSC e LIC:

$$LC = \bar{p} \quad (14)$$

$$LSC = \bar{p} + 3\sqrt{\frac{\bar{p}(1-\bar{p})}{n}} \quad (15)$$

$$LIC = \bar{p} - 3\sqrt{\frac{\bar{p}(1-\bar{p})}{n}} \quad (16)$$

5. Análise da estabilidade do processo.
6. Estabelecimento dos limites de controle definitivos.
7. Monitoramento do processo.
8. Revisão periódica dos limites de controle.

2.3.3 Gráfico de Controle EWMA

Montgomery (2001) descreve o GC chamado EWMA (*Exponentially Weighed Moving Average* – Média Móvel Exponencialmente Ponderada). A grande vantagem deste GC é que, conforme os valores escolhidos para seus parâmetros, é quase independente da distribuição de probabilidade da variável, conforme será discutido posteriormente.

O GC EWMA é utilizado mais comumente com valores individuais ($n = 1$) e apresenta bom desempenho em detectar pequenas variações no valor médio, embora tenha capacidade inferior ao GC de Shewhart em detectar rapidamente grandes variações da variável de controle.

A variável de controle neste GC é a média móvel de todos os valores anteriores (z) e é calculada segundo a eq. (17):

$$z_i = \lambda x_i + (1 - \lambda)z_{i-1} \quad (17)$$

onde λ ($0 < \lambda \leq 1$) é uma constante de ponderação e o valor inicial z_0 é a média da variável x . Caso este valor médio seja desconhecido, deve ser obtido à partir de dados preliminares.

Os valores para LC, LSC e LIC são calculados utilizando-se as eqs. (18), (19) e (20), respectivamente.

$$LC = z_0 \quad (18)$$

$$LSC = z_0 + L\sigma \sqrt{\frac{\lambda}{(2-\lambda)} [1 - (1-\lambda)^{2i}]} \quad (19)$$

$$LIC = z_0 - L\sigma \sqrt{\frac{\lambda}{(2-\lambda)} [1 - (1-\lambda)^{2i}]} \quad (20)$$

Nas eqs. (19) e (20), σ é o desvio padrão dos valores x_i e L é a largura do GC, em desvios padrões, escolhida em função do tempo de resposta desejado para o GC e do quão independente da distribuição de probabilidade se deseja que este GC seja. Tendo em vista este último fator, e conforme estudo apresentado por Montgomery (2001, p.433), os valores de λ e L que minimizam os efeitos da não normalidade da distribuição são 0,05 e 2,492, respectivamente.

Deve-se notar que os limites de controle são variáveis, mas tendem para um valor constante quando o número de observações (i) cresce.

Os Gráficos de Controle são também utilizados para o estudo da capacidade do processo produzir dentro dos limites de especificação. Os detalhes deste estudo são apresentados na seção seguinte.

2.4 Estudo da capacidade do processo

A capacidade (também conhecida como capabilidade) do processo refere-se à sua variabilidade em relação às especificações do produto, ou seja, mede o quanto este processo é capaz de produzir dentro dos limites de especificação. A capacidade é uma característica do processo e independe das especificações.

O estudo de capacidade pode ser feito mesmo no caso de não existirem limites de especificação, sendo então uma medida da variabilidade natural do processo. Faz-se também este estudo para a definição de limites de especificação.

O estudo de capacidade deve ser feito sob condições constantes de operação (velocidade, matérias-primas, etc.) e o impacto destas condições sobre a capacidade do processo deve ser analisado. A capacidade do processo é expressa através dos **índices de capacidade**, descritos a seguir.

2.4.1 Índices de capacidade

Para o cálculo dos índices de capacidade, duas condições devem ser satisfeitas:

1. A característica da qualidade estudada segue a distribuição normal de probabilidade.
2. O processo está sob controle estatístico.

Um índice de capacidade tradicional é o C_p , cuja fórmula de cálculo é a seguinte:

$$C_p = \frac{LSE - LIE}{6\sigma} \quad (21)$$

Onde LSE e LIE são os limites superior e inferior de especificação, respectivamente. Estimativas para o desvio padrão populacional (σ) podem ser obtidas dos gráficos de controle com o uso, por exemplo, da eq. (9).

Quando existe apenas um limite de especificação (LSE ou LIE), utilizam-se as seguintes equações:

$$C_{pu} = \frac{LSE - \mu}{3\sigma} \quad (22)$$

$$C_{pl} = \frac{\mu - LIE}{3\sigma} \quad (23)$$

A eq. (22) é utilizada quando existe apenas o *LSE* e a eq. (23), quando somente existe o *LIE*. Em ambos os casos, o valor médio populacional (μ) pode ser estimado através da *LC* no gráfico de controle.

Para processos existentes, estes são considerados capazes de produzir dentro dos limites de especificação quando seus índices de capacidade forem maiores ou iguais aos definidos na Tabela 1.

Tabela 1 - Valores mínimos para C_P , C_{PU} e C_{PL} para processos existentes.

Especificações bilaterais (<i>LSE</i> e <i>LIE</i>)	Especificações unilaterais (apenas <i>LSE</i> ou <i>LIE</i>)
1,33	1,25

Fonte: Montgomery (2001, p. 361).

Apesar da simplicidade de cálculo, os índices C_P , C_{PU} e C_{PL} têm a deficiência de não levarem em consideração a centralização da média do processo, que é considerada centralizada por hipótese. Para contornar este inconveniente, utilizam-se os índices C_{PK} , cuja fórmula de cálculo é a seguinte:

$$C_{PK} = \min(C_{PU}, C_{PL}) \quad (24)$$

$$C_{PU} = \frac{LSE - \mu}{3\sigma} \quad (25)$$

$$C_{PL} = \frac{\mu - LIE}{3\sigma} \quad (26)$$

As mesmas estimativas para o valor médio (μ) e para o desvio padrão (σ) populacionais descritas para o cálculo do C_P são válidas para o cálculo do C_{PK} .

Rotondaro (2002) propõe um método para a estimativa do índice de capacidade (C_{PK}) para atributos, mais especificamente para a fração defeituosa em uma amostra, composto pelas seguintes etapas:

1. Estimativa da fração defeituosa populacional através da fração defeituosa amostral.

2. Estimativa do desvio padrão populacional através do desvio padrão amostral.
3. Cálculo do z da distribuição normal reduzida conforme segue:

$$z = \min(z_I, z_S) \quad (27)$$

$$z_I = \frac{\mu - LIE}{\sigma} \quad (28)$$

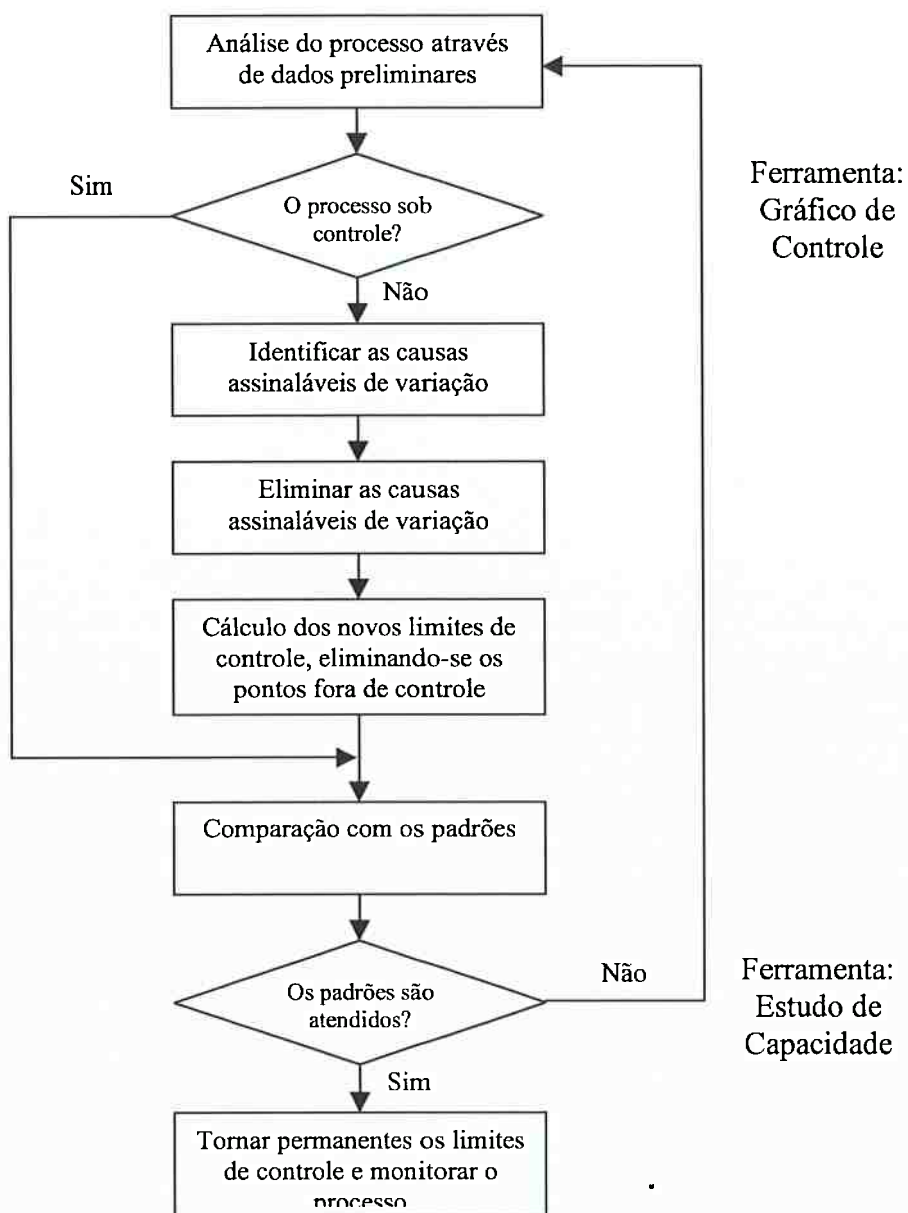
$$z_S = \frac{LSE - \mu}{\sigma} \quad (29)$$

4. Cálculo do índice C_{PK} conforme eq. (30).

$$C_{PK} = \frac{z}{3} \quad (30)$$

É necessário, antes de conduzir o estudo de capacidade, identificar e eliminar as causas assinaláveis de variação pois, caso contrário, a variabilidade do processo seria super-estimada pela presença de tais causas assinaláveis. Kume (1993), propõe uma metodologia para o Controle Estatístico do Processo, que evidencia as relações entre gráfico de controle e estudo de capacidade. Esta metodologia está representada na Figura 10.

Apesar da estabilidade do processo ser uma condição necessária para o estudo da sua capacidade segundo vários autores estudados (Kume (1993), Montgomery (2001), Rotondaro (2002)), Juran (1980) diz que é aceitável a realização de estudos de capacidade em processos fora de controle, uma vez que a eliminação das causas assinaláveis pode ser economicamente inviável. Neste caso, assume-se que o processo é capaz caso sua variabilidade (6σ) seja menor que o intervalo definido pelos limites de especificação. Porém, este autor enfatiza que processos fora de controle são menos previsíveis, o que compromete, pelo menos parcialmente, o estudo de capacidade.



Adaptado de Kume (1993, p. 142).

Figura 10 - Etapas para o Controle Estatístico do Processo.

Na fase final, o monitoramento do processo, deve-se proceder à revisão dos limites de controle periodicamente, ou quando ocorrer inovação tecnológica significativa.

Durante a fase de análise da estabilidade do processo é necessário conhecer quais são os fatores que têm influência sobre a característica da qualidade em estudo e qual a magnitude desta influência. Para tanto, uma ferramenta estatística útil e poderosa é o Delineamento de Experimentos, que será detalhado na seção seguinte.

2.5 Delineamento de Experimentos

É uma ferramenta para a determinação de quais as variáveis (controláveis ou fora de controle) que afetam, e em que magnitude, as saídas do processo. Dentre seus objetivos, aqueles citados por Montgomery (2001) e que mais nos interessam neste trabalho são:

- Determinar quais variáveis têm maior influência sobre a resposta.
- Determinar os valores das variáveis que minimizam a variabilidade da resposta devida a fatores fora de controle.
- Caracterizar o processo: determinar quais os fatores que afetam a resposta e em qual magnitude.

Resposta é o valor da característica da qualidade em análise como, por exemplo, desempenho na operação, fração defeituosa, etc. **Fatores** são as possíveis causas de variação no valor da resposta. São exemplos de fatores: matéria-prima, operador, máquina, entre outros. **Níveis** são os possíveis valores que os fatores podem assumir.

Neste trabalho usaremos o delineamento de experimentos fatorial 2^k , onde cada um dos k fatores possui dois níveis, chamados de ‘alto’ e ‘baixo’ ou de ‘-1’ e ‘+1’.

De acordo com Montgomery (2001), os passos para a realização do Delineamento de Experimentos são:

1. Definição e descrição do problema.
2. Escolha dos fatores e dos seus respectivos níveis.
3. Seleção da variável de resposta.
4. Escolha do modelo de Delineamento de Experimentos.

5. Realização do experimento.
6. Análise dos dados.
7. Elaboração de conclusões e recomendações.

A seguir será detalhado o fatorial 2^k .

2.5.1 Fatorial 2^k

Sejam k fatores, cada um com 2 níveis. Cada uma das 2^k possíveis combinações entre os níveis destes fatores é chamada de um **experimento**, sendo cada experimento realizado n vezes (n **replicações**).

Chama-se **efeito principal** do fator, e denota-se por letra maiúscula, à variação na resposta causada pela variação do fator do seu nível baixo para seu nível alto. As **interações** entre fatores são designadas pelas letras dos fatores envolvidos. Por exemplo, AB representa a interação entre os fatores A e B.

A **tabela de contrastes** é útil para a determinação dos experimentos e para os cálculos posteriores. Esta tabela apresenta todos os experimentos possíveis para um dado número de fatores e os valores dos níveis destes fatores em cada experimento.

Tabela 2 - Tabela de contrastes para o fatorial 2^3 .

Experimento		Efeitos						
		A	B	AB	C	AC	BC	ABC
1	(1)	-1	-1	+1	-1	+1	+1	-1
2	a	+1	-1	-1	-1	-1	+1	+1
3	b	-1	+1	-1	-1	+1	-1	+1
4	ab	+1	+1	+1	-1	-1	-1	-1
5	c	-1	-1	+1	+1	-1	-1	+1
6	ac	+1	-1	-1	+1	+1	-1	-1
7	bc	-1	+1	-1	+1	-1	+1	-1
8	abc	+1	+1	+1	+1	+1	+1	+1

Elaborado pelo autor.

A Figura 11 apresenta um modelo de planilha útil nos cálculos do Delineamento de Experimentos. Nesta Figura está também ilustrada a forma de cálculo dos **contrastos** dos fatores e das interações.

Exp.	Efeitos							Valores observados				Total
	A	B	AB	C	AC	BC	ABC	1	2	...	n	
1 (1)	-1	-1	+1	-1	+1	+1	-1					
2 a	+1	-1	-1	-1	-1	+1	+1					
3 b	-1	+1	-1	-1	+1	-1	+1					
4 ab	+1	+1	+1	-1	-1	-1	-1					
5 c	-1	-1	+1	+1	-1	-1	+1					
6 ac	+1	-1	-1	+1	+1	-1	-1					
7 bc	-1	+1	-1	+1	-1	+1	-1					
8 abc	+1	+1	+1	+1	+1	+1	+1					

Multiplicar linha a linha e somar para obter os contrastes

Elaborado pelo autor.

Figura 11 - Planilha para os cálculos do Delineamento de Experimentos, com indicação da forma de cálculo dos contrastes.

A planilha ilustrada na Figura 11 facilita enormemente os cálculos, já que dispensa a memorização de extensas fórmulas e é aplicável para qualquer número de fatores. Cada fator e cada interação terão seus contrastes calculados conforme descrito nesta Figura.

Após o cálculo dos contrastes, calculam-se os efeitos principais e das interações da seguinte forma:

$$Efeito = \frac{Contraste}{n2^{k-1}} \quad (31)$$

Finalmente, calculam-se as somas de quadrados (SS) para os fatores e interações:

$$SS = \frac{(Contraste)^2}{n2^k} \quad (32)$$

A soma de quadrados total é obtida da seguinte forma:

$$SS_T = \sum_{i=1}^{2^k} \sum_{j=1}^n y_{ij}^2 - \frac{\left(\sum_{i=1}^{2^k} \sum_{j=1}^n y_{ij} \right)^2}{n2^k} \quad (33)$$

A soma de quadrados residual representa a variação devida a outros fatores além daqueles incluídos no Delineamento de Experimentos e é calculada subtraindo-se da soma de quadrados total as somas de quadrados de todos os fatores e de todas as interações. Como exemplo, para um experimento 2^3 teríamos a seguinte fórmula para o cálculo da soma de quadrados residual:

$$SS_E = SS_T - SS_A - SS_B - SS_{AB} - SS_C - SS_{AC} - SS_{BC} - SS_{ABC}$$

O próximo passo é avaliar quais os fatores e interações significativos, o que é feito através de **análise de variância**. A Figura 12 a seguir apresenta um modelo de planilha para a análise de variância. Muitos aplicativos de computador, tais como Minitab e Microsoft Excel fazem estes cálculos automaticamente.

O número de graus de liberdade das somas de quadrados dos fatores é dado pelo número de níveis do fator menos um. Para as interações, os graus de liberdade são dados pelo produto dos graus de liberdade dos fatores envolvidos. O número de graus de liberdade da soma de quadrados total é dado pelo número total de observações menos um e, para a soma de quadrados residual, pela subtração dos graus de liberdade das somas de quadrados dos fatores e interações dos graus de liberdade da soma de quadrados total.

Concluimos que um fator ou interação é significativo se $F_0 > F_{\alpha;v1,v2}$, sendo α o nível de significância adotado (por exemplo 5%), $v1$ o número de graus de liberdade do numerador, dado pelo número de graus de liberdade da soma de quadrados correspondente e $v2$ o número de graus de liberdade do denominador, igual ao número de graus de liberdade de SS_E .

Fonte de variação	Soma de quadrados	Graus de liberdade	Quadrado médio	F ₀
A	SS _A	1	MS _A = SS _A / 1	F ₀ = MS _A / MS _E
B	SS _B	1	MS _B = SS _B / 1	F ₀ = MS _B / MS _E
AB	SS _{AB}	1	MS _{AB} = SS _{AB} / 1	F ₀ = MS _{AB} / MS _E
C	SS _C	1	MS _C = SS _C / 1	F ₀ = MS _C / MS _E
AC	SS _{AC}	1	MS _{AC} = SS _{AC} / 1	F ₀ = MS _{AC} / MS _E
BC	SS _{BC}	1	MS _{BC} = SS _{BC} / 1	F ₀ = MS _{BC} / MS _E
ABC	SS _{ABC}	1	MS _{ABC} = SS _{ABC} / 1	F ₀ = MS _{ABC} / MS _E
Erro	SS _E	(n2 ^k - 1) - 7	MS _E = SS _E / (n2 ^k - 1) - 7	
Total	SS _T	n2 ^k - 1		

Elaborado pelo autor.

Figura 12 - Planilha para a análise de variância do fatorial 2³.

Uma vez determinados quais os fatores e interações significativos, o próximo passo é a construção do modelo de regressão, que permitirá estimar o valor da variável resposta (y) em função dos valores assumidos pelos fatores (x 's) considerados significativos. Este modelo de regressão tem a seguinte forma:

$$\hat{y} = \hat{\beta}_0 + \hat{\beta}_1 x_1 + \hat{\beta}_2 x_2 + \dots + \hat{\beta}_{12} x_1 x_2 + \dots \quad (34)$$

Onde x_i é o valor assumido pelo fator i (-1 para fator no nível baixo e +1 para fator no nível alto) e β_i são coeficientes calculados como segue:

$$\beta_0 = \text{média geral das } n2^k \text{ observações} \quad (35)$$

$$\beta_i = (\text{efeito } i)/2 \quad (36)$$

$$\beta_{ij} = (\text{efeito } ij)/2 \quad (37)$$

2.6 Análise PFMEA

Segundo Setec (2002), a análise FMEA (*Failure Mode and Effects Analysis* – Análise dos Modos de Falha e seus Efeitos) é uma ferramenta para a identificação

sistemática das falhas potenciais de um produto, suas causas e efeitos. O PFMEA, ou FMEA de processo, é uma variante desta ferramenta destinada à identificação de falhas potenciais em processos.

O principal objetivo do PFMEA é a melhoria do processo, através da identificação das suas falhas potenciais, causas e efeitos sobre o cliente (interno e/ou externo). Ajuda ainda no estabelecimento de planos de controle para o processo, através da identificação das suas principais variáveis, além de ser uma ferramenta útil no estabelecimento de prioridades para ações de melhoria no processo.

Antes de executar a análise PFMEA, é útil construir um fluxograma do processo a ser estudado, para o seu melhor entendimento e visualização das interdependências entre seus componentes. É recomendável também a elaboração de um diagrama de causa e efeito (ver seção 2.2.4) para a identificação das possíveis fontes de variação no processo e como estão relacionadas.

A metodologia PFMEA analisa o **processo** como sendo composto por uma série de **funções**, cada uma destas funções podendo apresentar um número variável de **falhas potenciais**. Estas falhas têm sua(s) **causa(s)** em etapa(s) anterior(es) do processo ou em elemento(s) externo(s) a este. Para quantificar a probabilidade de ocorrência de cada causa é usado um índice (OCOR).

Cada modo de falha tem ainda um ou vários **efeitos** sobre o cliente interno (processos seguintes) ou externo. A severidade desses efeitos é avaliada por outro índice (SEV).

São ainda analisados os **controles existentes no processo**, sejam eles. controles preventivos, que procuram detectar a ocorrência das causas da falha, ou controles detectivos, que atuam sobre o modo de falha em si. Esses controles são avaliados usando-se um terceiro índice (DET) que mede a sua eficiência em detectar a falha antes do produto chegar ao cliente externo ou ao processo seguinte.

Estimados estes três índices, é então calculado o Número de Prioridade de Risco (NPR) para cada modo de falha apontado. Este índice possibilita a classificação dos riscos potenciais, evidenciando os mais importantes e em cuja

solução devem ser **concentrados** esforços. O NPR é o produto dos índices de severidade (SEV), ocorrência (OCOR) e detecção (DET):

$$NPR = SEV \times OCOR \times DET \quad (38)$$

A etapa final da análise PFMEA consiste na elaboração, implementação e acompanhamento de ações para a redução do NPR, a começar pelos modos de falha que apresentem os maiores riscos potenciais.

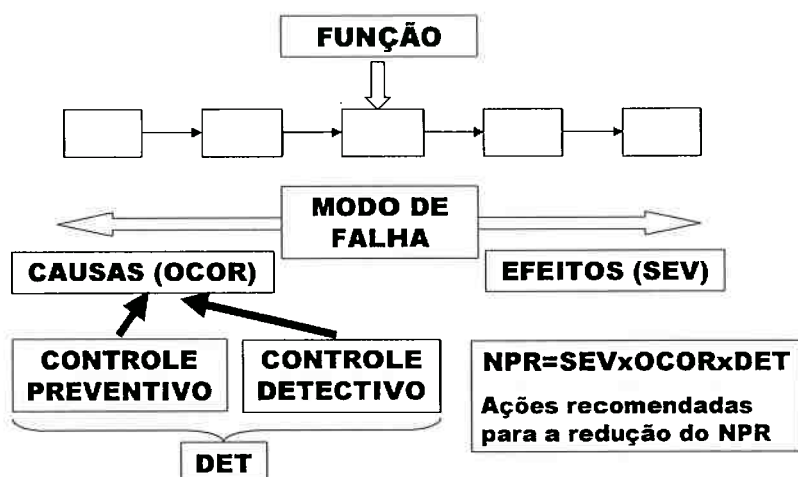
A análise PFMEA é feita através do preenchimento da planilha representada na Figura 14.

As Tabelas 3, 4 e 5 a seguir apresentam as escalas a serem utilizadas para a atribuição dos índices de severidade (SEV), ocorrência (OCOR) e detecção (DET), respectivamente.

FCAV (2002) destaca que a análise PFMEA deverá ser conduzida por uma equipe multifuncional, composta por representantes da produção, do controle de qualidade, engenharia de produto e processo e fornecedores, entre outros. Caso os membros da equipe não tenham experiência com a metodologia PFMEA, um facilitador qualificado deverá se responsabilizar pela coordenação dos trabalhos.

Ferramentas estatísticas podem ser utilizadas para subsidiar as análises e verificar o resultado das ações propostas. A planilha do PFMEA deve ser revisada constantemente e é preciso garantir que as ações recomendadas sejam corretamente implementadas.

A análise PFMEA não visa melhoria do produto, e sim do processo produtivo. É assumido que o projeto do produto foi conduzido corretamente e que este atende às necessidades e expectativas do cliente.



Adaptado de Setec (2002, p. III – 9).

Figura 13 - Visão geral da metodologia de análise PFMEA.

#	Função	Modo de falha potencial (problemas no processo)	Efeito da falha potencial	Sev	Causa da falha potencial	OCOR	Controle preventivo existente no processo	Controle detectivo existente no processo	DET	NPR	Ação recomendada	Responsável pela ação recomendada	Data para conclusão	Situação

Elaborado pelo autor.

Figura 14 - Planilha usada na análise PFMEA.

Tabela 3 - Escala para a atribuição do índice de severidade (SEV).

Efeito	Critério: severidade do efeito	Clas.
Perigoso: sem aviso prévio	Pode colocar em risco o operador. Modo de falha afeta a operação segura do veículo e/ou implica não conformidade com regulamentações governamentais. Falha irá ocorrer SEM aviso prévio	10
Perigoso: com aviso prévio	Pode colocar em risco o operador. Modo de falha afeta a operação segura do veículo e/ou implica não conformidade com regulamentações governamentais. Falha irá ocorrer COM aviso prévio	9
Muito elevado	Parada prolongada na linha de produção. 100% dos produtos devem ser sucateados. Item/veículo fora de operação, perda da função primária. Cliente muito insatisfeito.	8
Elevado	Parada breve na linha de produção. Produtos devem ser selecionados e uma proporção (menor que 100%) sucateada. Veículo em operação, porém com um nível de desempenho reduzido. Cliente insatisfeito.	7
Moderado	Parada breve na linha de produção. Uma proporção (menor que 100%) deve ser sucateada (sem seleção). Item/veículo em operação, porém com algum(ns) item(ns) de conforto/comodidade fora de operação. Cliente experimenta desconforto.	6
Baixo	Parada breve na linha de produção. 100% dos produtos devem de ser retrabalhados. Item/veículo em operação, porém com algum(ns) item(ns) de conforto/comodidade operando em um nível reduzido de desempenho. Cliente experimenta alguma insatisfação.	5
Muito baixo	Parada breve na linha de produção. Produtos devem ser selecionados e uma proporção (menor que 100%) retrabalhada. Forma/acabamento/barulho/chiados não conformes. Defeito perceptível pela maioria dos clientes.	4
Menor	Parada breve na linha de produção. Uma proporção (menor que 100%) dos produtos deve ser retrabalhada na linha de produção, mas fora da estação de trabalho. Forma/acabamento/barulho/chiados não conformes. Defeito perceptível pelo cliente típico.	3
Muito menor	Parada breve na linha de produção. Uma proporção (menor que 100%) dos produtos deve ser retrabalhada na linha de produção e na estação de trabalho. Forma/acabamento/barulho/chiados não conformes. Defeito perceptível por clientes exigentes.	2
Nenhum	Sem efeito.	1

Fonte: documentação interna da empresa.

Tabela 4 - Escala para a atribuição do índice de ocorrência (OCOR).

Probabilidade de falha	Taxas de falhas possíveis	Cpk	Clas.
Muito elevada: falha é quase inevitável	≥ 1 em 2	$< 0,33$	10
	1 em 3	$\geq 0,33$	9
Elevada: geralmente associada a processos similares a outros anteriores que falharam com frequência	1 em 8	$\geq 0,51$	8
	1 em 20	$\geq 0,67$	7
Moderada: geralmente associada a processos similares a outros anteriores que tiveram falhas ocasionais, porém não em grandes proporções	1 em 80	$\geq 0,83$	6
	1 em 400	$\geq 1,00$	5
	1 em 2.000	$\geq 1,17$	4
Baixa: falhas isoladas associadas a processos similares	1 em 15.000	$\geq 1,33$	3
Muito baixa: apenas falhas isoladas associadas a processos quase idênticos	1 em 150.000	$\geq 1,5$	2
Remota: falha é improvável. Nenhuma falha associada a processos quase idênticos	≤ 1 em 1.500.000	$\geq 1,67$	1

Fonte: documentação interna da empresa.

Tabela 5 - Escala para a atribuição do índice de detecção (DET).

Detecção	Critério: probabilidade da existência de um defeito ser detectada pelos controles detectivos existentes antes do produto avançar para o processo seguinte	Exemplos	Clas.
Quase impossível	Controles detectam < 80 % dos defeitos	Não há checagem	10
Muito remota	Controles detectam 80 % dos defeitos	Checagens indiretas e aleatórias	9
Remota	Controles detectam 82,5 % dos defeitos	Inspeção visual	8
Muito baixa	Controles detectam 85 % dos defeitos	Dupla inspeção visual	7
Baixa	Controles detectam 87,5 % dos defeitos	Controle gráfico (exemplo: CEP)	6
Moderada	Controles detectam 90 % dos defeitos	Medição de 100% dos produtos ao saírem da máquina	5
Moderadamente elevada	Controles detectam 92,5 % dos defeitos	Medição no setup e checagem da primeira peça	4
Elevada	Controles detectam 95 % dos defeitos	Múltiplas camadas de aceitação. Não aceita peças não conformes	3
Muito elevada	Controles detectam 97,5 % dos defeitos	Medição na máquina com parada automática.	2
Quase certa	Controles detectam 99,5 % dos defeitos	Dispositivos a prova de falhas no processo.	1

Fonte: documentação interna da empresa.

3 RESULTADO

Este capítulo inicia-se com uma descrição geral do processo produtivo da gráfica, seguida por uma descrição mais detalhada da linha de produção objeto de estudo. Depois, é apresentada a justificativa da escolha desta linha de produção para análise.

O capítulo segue com a apresentação do índice OEE, incluindo modo de cálculo e interpretação. Na interpretação deste índice é usado o conceito das Seis Grandes Perdas, também apresentadas neste capítulo.

Em seguida, apresentam-se os resultados das análises estatísticas realizadas: análise de estabilidade, busca por causas assinaláveis de variação, análise de capacidade e busca por causas comuns de variação.

Como resultado destas análises, uma série de ações de melhoria são propostas. O capítulo se encerra com a descrição destas ações e a apresentação dos resultados obtidos com a implementação de algumas delas. É proposto um cronograma para a implantação das demais ações de melhoria.

3.1 Descrição do processo produtivo

Nesta seção, primeiramente será fornecida uma descrição geral do processo produtivo de um livro e, em seguida, será detalhado o processo no qual está baseado este trabalho.

3.1.1 Visão geral

A produção do livro começa com o envio, pelo cliente, do conteúdo deste, seja através de fotolitos, seja através de arquivos digitais. O conteúdo do livro deve estar no formato final, uma vez que a empresa não faz serviços de editoração. As etapas seguintes são pré-impressão, impressão e acabamento.

- **Pré-impressão**

É o processo de transferência do conteúdo a ser impresso (textos e ilustrações) para as chapas de impressão. Quando este conteúdo apresenta-se na forma de fotolitos – filmes transparentes onde está o conteúdo a ser impresso –, o

processo chama-se pré-impressão convencional e, quando está na forma de arquivos digitais, pré-impressão digital.

Na pré-impressão convencional emprega-se um processo fotográfico, onde ocorre a fotossensibilização da chapa de impressão com luz rica em raios ultravioletas. Às áreas fotossensibilizadas correspondem as áreas neutras (não-impressoras) e, às áreas não fotossensibilizadas, as áreas de impressão.

Já na pré-impressão digital, o conteúdo a ser impresso é transferido a uma chapa termossensível por um equipamento eletrônico que emite um feixe de elétrons que percorre a chapa, sensibilizando-a nas áreas de impressão.

Após a gravação da chapa pelo processo convencional, é necessário fazerem-se retoques na mesma, uma vez que é comum ocorrerem imperfeições, tais como riscos nos limites das emendas dos fotolitos. Já as chapas gravadas pelo processo digital não requerem nenhum tipo de retoque.

Em ambos os casos, depois de gravada, a chapa pode passar por um forno, com o objetivo de aumentar a sua durabilidade, processo este conhecido como ‘queimar’ a chapa. Uma vez gravadas e queimadas, as chapas estão prontas para o processo seguinte – a impressão *offset*.

- **Impressão *offset***

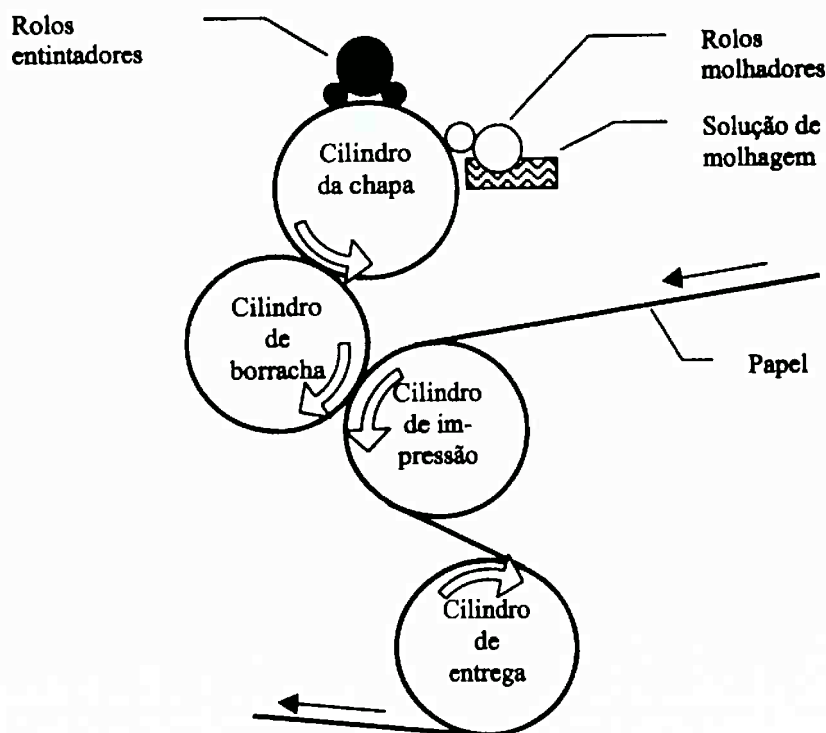
Araújo (1986) informa que o sistema de impressão *offset* – termo em inglês cujo significado é ‘decalque’ – foi desenvolvido no início do século XIX mas só se tornou largamente utilizado no início do século XX. É empregado para grandes edições de livros, sobretudo para trabalhos bem cuidados que envolvam ilustrações.

Tem como base a repulsão recíproca entre uma substância graxa – a tinta – e a água sobre a chapa de impressão. Enquanto as áreas de impressão não têm a capacidade molharem-se – repelem a água e atraem a tinta – as áreas neutras são hidrófilas – atraem a água, repelindo a tinta.

A impressão *offset* é chamada de processo de impressão indireta, pois a imagem é primeiramente transferida a um cilindro intermediário para depois passar para o papel. Uma impressora *offset* possui várias unidades impressoras, uma para

cada cor de cada lado da folha. Cada uma destas unidades é composta pelos seguintes elementos:

- Cilindro da chapa de impressão. É onde é fixada a chapa de impressão que recebe água e tinta através de dois conjuntos de rolos – os rolos de tintagem (ou de entintamento) e os rolos molhadores. Na verdade, o que se chama água (ou solução de molhagem) é uma solução aquosa de água, goma arábica e ácido.
- Cilindro de borracha. É também conhecido como blanqueta ou calço, recebe a imagem do cilindro da chapa de impressão e a transfere ao cilindro de impressão. Sua finalidade é proteger a chapa de impressão, muito delicada, da superfície abrasiva do papel. É composta por finíssimas camadas de borracha e tela e atinge uma espessura total de 1,5 a 2 mm.
- Cilindro de impressão. Recebe o papel – em folhas ou em bobinas – que receberá a imagem através do cilindro de borracha.



Adaptado de Araújo (1986, p. 566).

Figura 15 - Representação esquemática de uma unidade impressora de impressora offset.

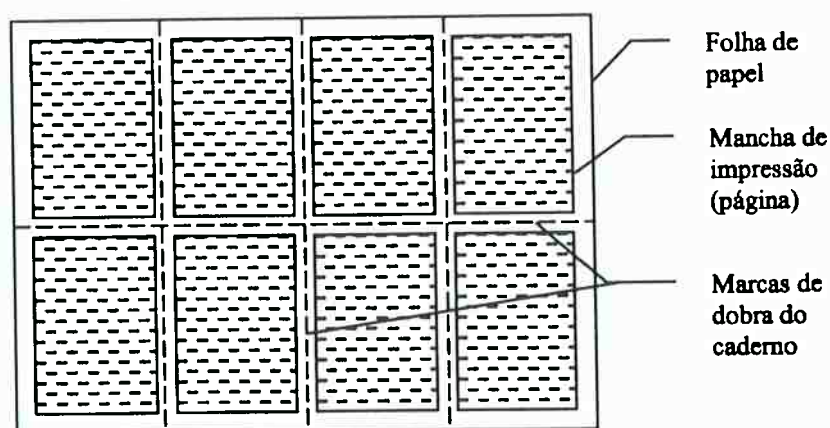
As impressoras *offset* dividem-se em planas e rotativas. As impressoras planas são alimentadas com papel cortado em folhas e as rotativas, com papel em bobinas. O número de cores que a impressora é capaz de imprimir é determinado pelo número de unidades impressoras que possui (1, 2, 5 ou 8), o que determina também se é capaz de imprimir a frente (reto) e o verso da folha ao mesmo tempo ou se é necessário retirar o papel após a impressão do reto para a impressão do verso.

Para cada unidade impressora é necessária a confecção de uma chapa de impressão diferente.

- **Acabamento**

É a fase final do processo produtivo, onde ocorre a montagem, encadernação e embalagem do livro.

As impressoras utilizam formatos grades de papel, por exemplo 87 x 114 cm em uma impressora plana. Em cada folha são impressas várias páginas de um livro, dispostas em uma arranjo denominado 'montagem'. Cada montagem dará origem, após ser dobrada, a um caderno do livro, sendo que estes cadernos possuem 8, 16, 32 ou 64 páginas cada, dependendo do formato final do livro e do tamanho da folha utilizada.



Elaborado pelo autor.

Figura 16 - Exemplo de esquema de montagem de um caderno de 16 páginas.

Saindo das impressoras planas em folhas abertas, o papel é primeiramente dobrado em máquinas conhecidas como ‘dobradeiras’ até atingir o formato final do livro. Estas máquinas são capazes de fazer múltiplas dobras – em cruz, em sanfona, em paralelo, etc. Nas impressoras rotativas, as folhas já saem dobradas em cadernos, graças a um dispositivo instalado na sua saída.

A etapa seguinte dentro do acabamento é o alceamento, operação de ordenar os cadernos dobrados, conforme a seqüência das páginas, formando o livro. Esta operação é feita em máquinas conhecidas como ‘alceadeiras’, equipadas com diversas bandejas, onde são colocados os cadernos a serem alceados. Cada bandeja despeja um caderno em uma esteira rolante que vai, assim compondo o livro. Estas máquinas operam a uma velocidade média de 6.500 cadernos por hora. Ao conjunto de cadernos alceados dá-se o nome de ‘miolo’.

Após o alceamento, faz-se a união dos cadernos do miolo através de um dos seguintes processos:

- Grampeação. Há duas formas de grampeação: grampeação a cavalo, também conhecida como lombada canoa, onde os grampos são inseridos na lombada ou linha de dobra, usada principalmente em revistas, catálogos, fascículos; grampeação lateral, usada para livros mais grossos, onde os grampos são fixados na borda do miolo, a 3 mm da lombada (lombada é o lado pelo qual as folhas e os cadernos são unidos uns aos outros, é o lado oposto àquele pelo qual o livro é aberto, sendo este último conhecido como ‘frente’ ou ‘boca’ do livro). A gráfica objeto de estudo deste trabalho não executa grampeação lateral.
- Colagem. Neste processo, os cadernos do miolo são unidos entre si através de cola aplicada à lombada, ligando solidamente o conjunto. Uma faixa de gaze ou de papel crepe pode ser aplicada à lombada para conferir maior resistência ao livro.
- Costura. É a forma de acabamento que confere a maior durabilidade ao livro e faz-se através da costura dos cadernos do miolo com linha de algodão ou linho. A costura é executada em máquinas automatizadas.

Quanto ao processo seguinte, a colocação da capa, a produção de livros pode ser dividida em duas categorias:

- Brochagem. As capas são unidas ao miolo (colado ou costurado) através de cola aplicada na lombada e em uma faixa de 5 mm na lateral do livro. Nos livros grampeados, a capa é grampeada junto como os cadernos. Uma vez aplicada a capa, a etapa seguinte é o refile do livro nos três lados independentes da lombada (estes lados são: cabeça, que corresponde à parte superior das páginas; pé, correspondendo ao rodapé das páginas e frente), executado em guilhotinas automatizadas denominadas tri-laterais.

As capas de brochuras podem receber revestimento de uma fina película plástica transparente (polietileno), aplicada ao papel através de laminação, e que confere a esta melhor aparência, maior brilho e maior durabilidade, tornando-a impermeável.

As capas de brochura, chamadas de capas moles, podem ser produzidas com ou sem orelhas.

- Encadernação. Neste processo, a capa é unida ao miolo através de folhas de guarda – folhas impressas ou não, de maior resistência que as folhas do miolo, unidas ao primeiro e ao último cadernos através de uma faixa de cola junto à lombada.

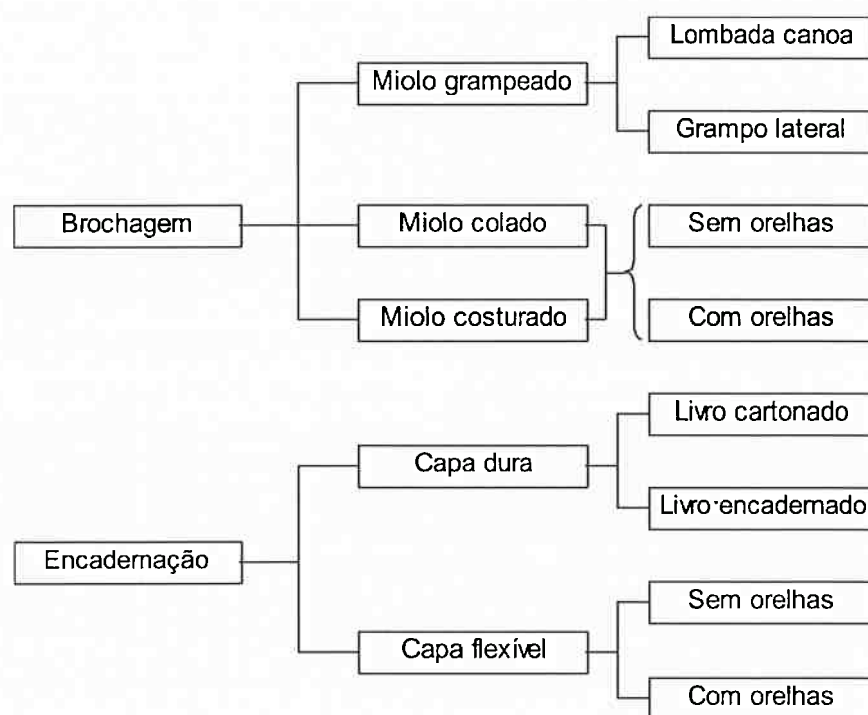
Diferentemente das capas usadas em brochuras, que são simples folhas impressas e revestidas com material plástico, as capas usadas em livros encadernados precisam ser montadas, o que é feito em um departamento denominado ‘monta capas’. Estas capas podem ser duras ou flexíveis.

As capas duras são produzidas através de uma armação de papelão revestida por papel, tecido ou material sintético. Os livros fabricados com capas revestidas inteiramente por papel são conhecidos como cartonados e os demais como livros encadernados. As capas duras podem ainda receber gravação dourada, prateada ou em outra cor qualquer.

As capas flexíveis destinadas a livros encadernados são feitas à partir de folhas de papel impresso, dobradas nas bordas para conferir maior resistência. Estas capas podem ser feitas com ou sem orelhas.

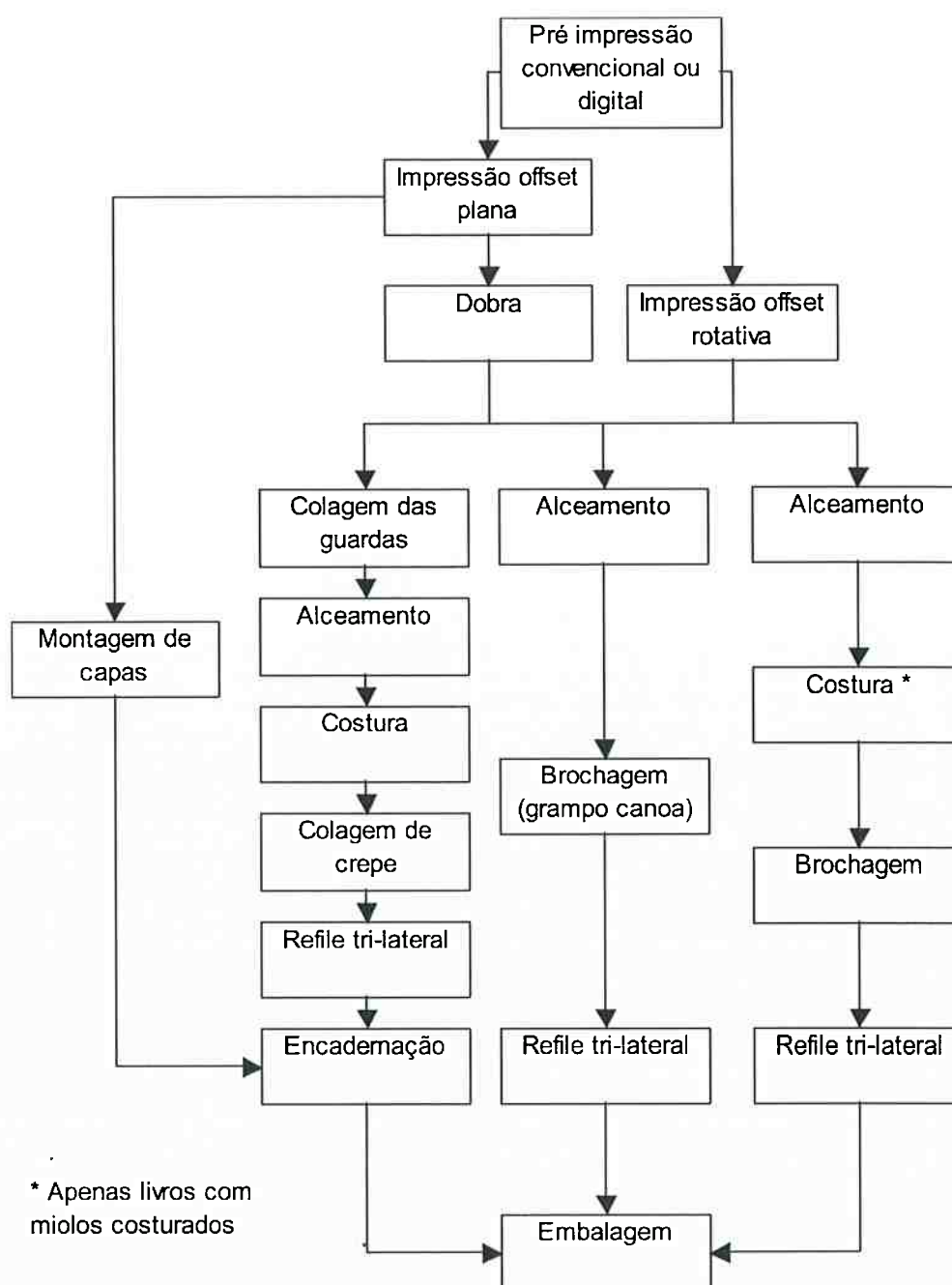
Após o término do processo de acabamento (brochagem ou encadernação), o livro vai ao departamento de embalagem e serviços manuais, onde são feitas operação tais como colocação de sobrecapa, encartes e etiquetas adesivas. Finalmente, os livros são embalados, individual ou coletivamente, em caixas ou embalagens de plástico termoencolhível (*shrink*) e envidas à expedição. Assim termina o processo de produção de um livro.

A Figura 17 trás um resumo dos tipos de acabamento mencionados e a Figura 18 apresenta um fluxograma do processo de produção de livros. O arranjo físico esquemático da gráfica onde se desenvolve este trabalho é apresentado na Figura 19.



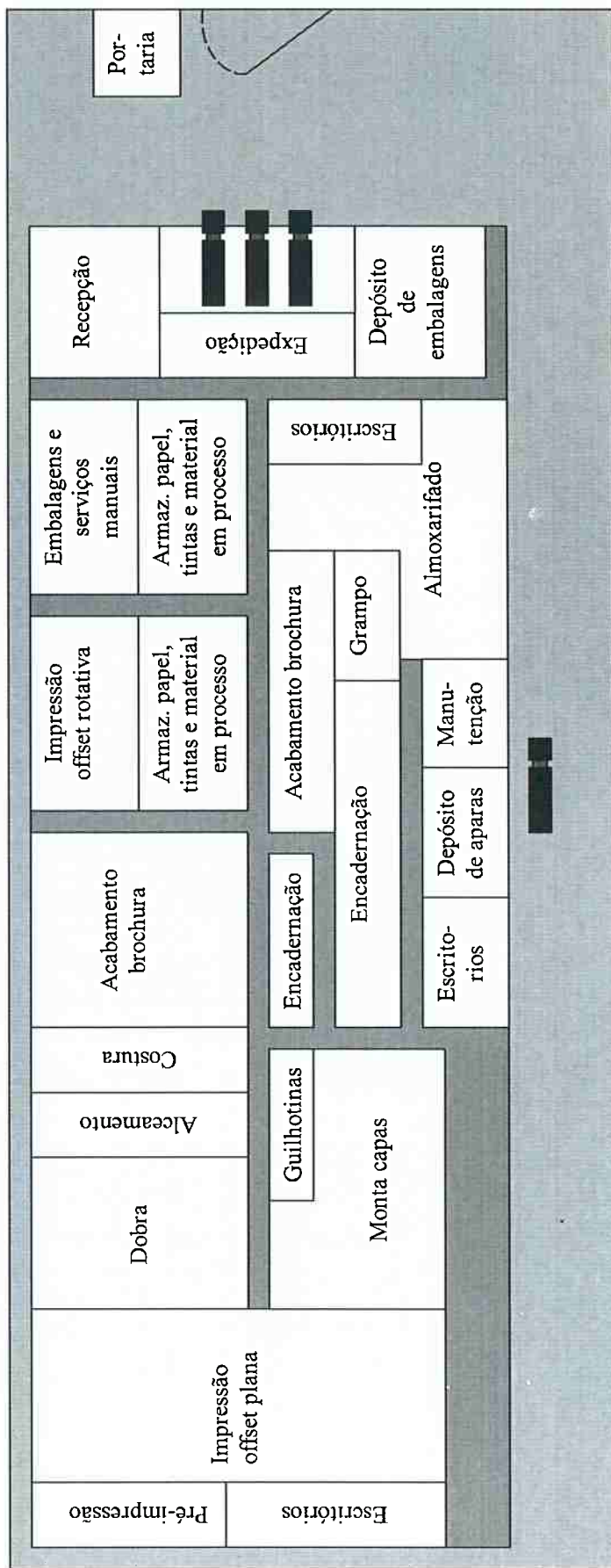
Elaborado pelo autor.

Figura 17 - Tipos de acabamento para livros.



Elaborado pelo autor.

Figura 18 - Fluxograma do processo de produção de livros.



Elaborado pelo autor.

Figura 19 - Arranjo físico esquemático da gráfica (sem escala).

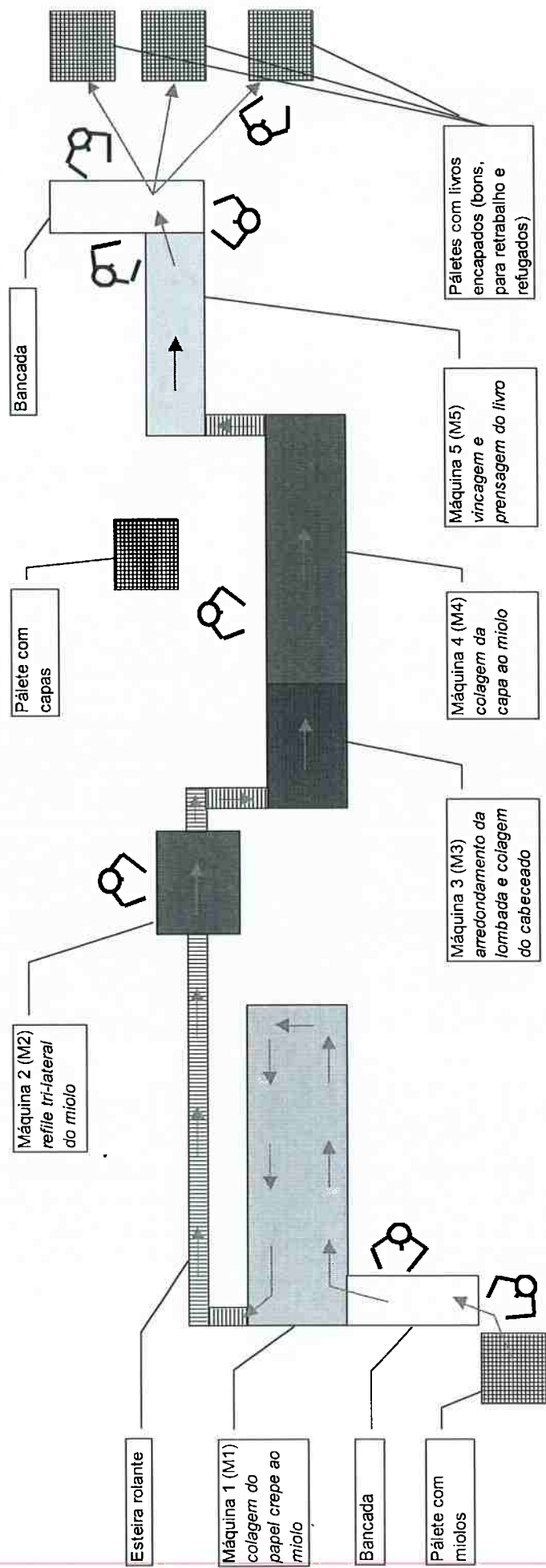
3.1.2 A linha de encadernação de livros

A linha de produção objeto de estudo deste trabalho executa a aplicação de capas (duras e flexíveis) a miolos dotados de guarda. É composta pelas seguintes máquinas:

- Máquina 1 (M1). Recebe os miolos já costurados e faz a colagem de papel crepe à sua lombada, para dar maior resistência a esta. Nesta máquina trabalham dois operadores, um retira os miolos do pátete e os coloca sobre uma bancada, de onde o outro operador os alimenta, um a um, na máquina. Estes operadores também são responsáveis pela troca de bobina de papel crepe.
- Máquina 2 (M2). Faz o refile do pé, cabeça e frente do miolo (refile tri-lateral). É dotada de três lâminas que operam alternadamente: duas ao mesmo tempo para refilar o pé e a cabeça, seguida por outra que faz o refile da frente do miolo. Um operador é responsável pela supervisão desta máquina, fazendo os ajustes necessários.
- Máquina 3 (M3). Esta máquina executa duas operações: o arredondamento da lombada (somente para os livros com lombada tipo redonda) e a colagem do cabeceado à lombada do miolo. O arredondamento é feito por uma fôrma metálica que é pressionada contra a lombada do miolo, para dar-lhe a forma desejada. A colagem do cabeceado segue as seguintes etapas: primeiro o papel kraft é desbobinado e refilado; em seguida a fita de tecido do cabeceado, também fornecida em bobinas, é colada às extremidades do kraft; finalmente, o conjunto é cortado e colado sobre a lombada do livro.
- Máquina 4 (M4). Faz a colagem da capa ao miolo. As capas são alimentadas manualmente em um magazine com capacidade para aproximadamente 50 unidades. Primeiramente, o miolo passa por dois cilindros, que aplicam cola às suas guardas e, em seguida, é aplicada a capa ao miolo. As máquinas M3 e M4 são de responsabilidade do principal operador da linha, que faz as tarefas de alimentação de capas, troca das bobinas de papel kraft e de fita do cabeceado, além de supervisionar a operação das máquinas e fazer a sua preparação e os ajustes necessários.

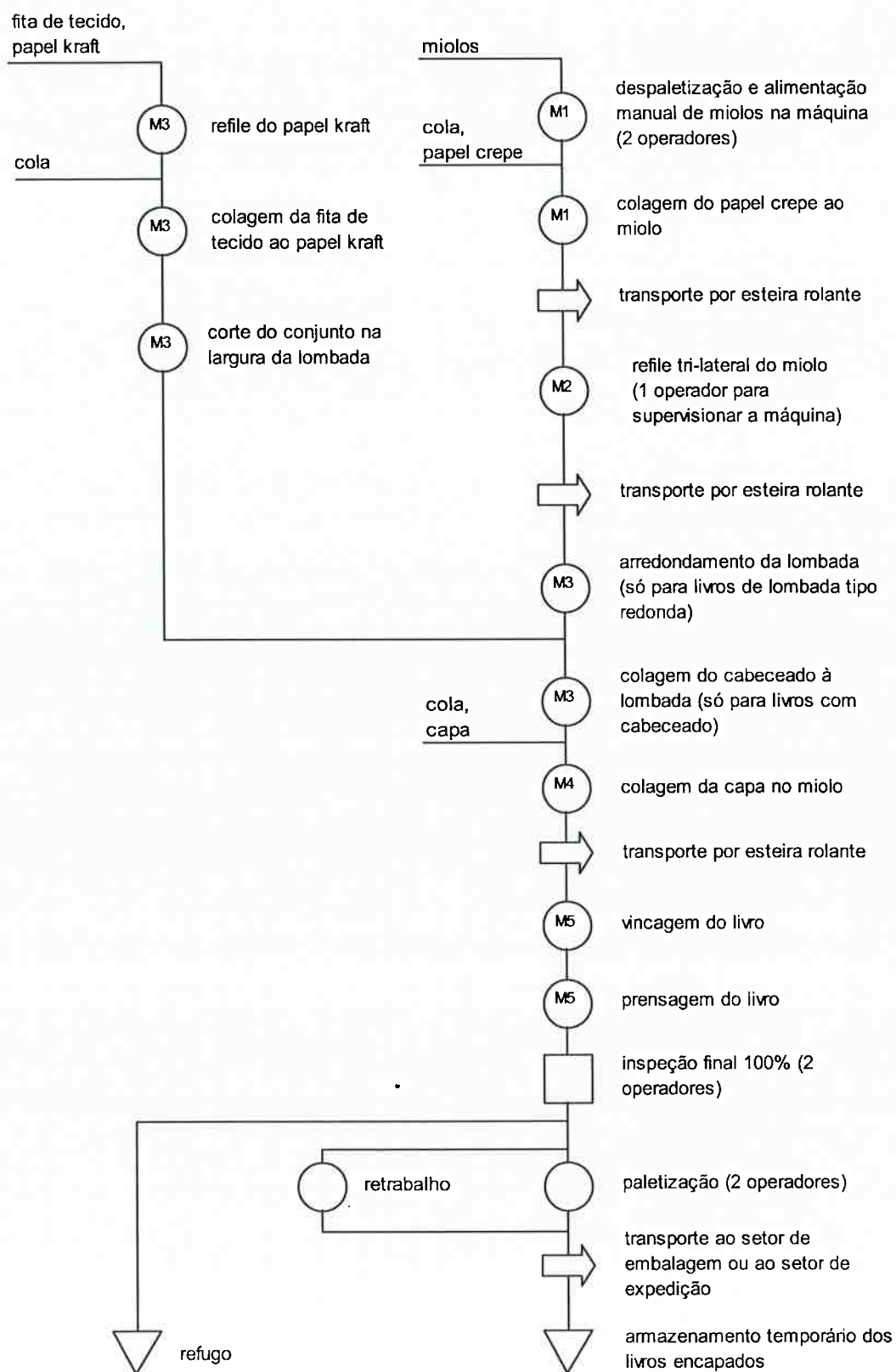
- Máquina 5 (M5). Nesta máquina são feitos os vincos na capa do livro, um na primeira e outro na quarta capa, ambos junto à lombada. É feita também a prensagem do livro para a perfeita aderência do miolo à capa. Esta máquina, a última da linha, escoia sua produção para uma bancada onde dois operadores fazem a inspeção final nos livros, separando os bons dos defeituosos. Esta inspeção é feita em 100% da produção. Na saída desta máquina trabalham ainda dois outros operadores, responsáveis pela paletização dos livros. Os livros bons são enviados ao setor de embalagem ou diretamente à expedição, conforme necessitem ou não de embalagem individual. Os livros para retrabalho e os livros rebugados são colocados em páletes separados e identificados através de etiquetas apropriadas.

A velocidade nominal da linha é de 3.000 livros/hora, porém na prática as máquinas operam em velocidade inferior, que varia conforme o tipo do livro a ser encapado. A preparação das máquinas (*setup*) é necessária em toda troca de serviço e dura, em média, uma hora. A Figura 20 apresenta um esquema com o arranjo físico das máquinas e a localização dos postos de trabalho. Na Figura 21 encontra-se o fluxograma das atividades da linha de produção.



Elaborado pelo autor.

Figura 20 - Arranjo físico das máquinas e localização dos postos de trabalho na linha de encadernação de livros.



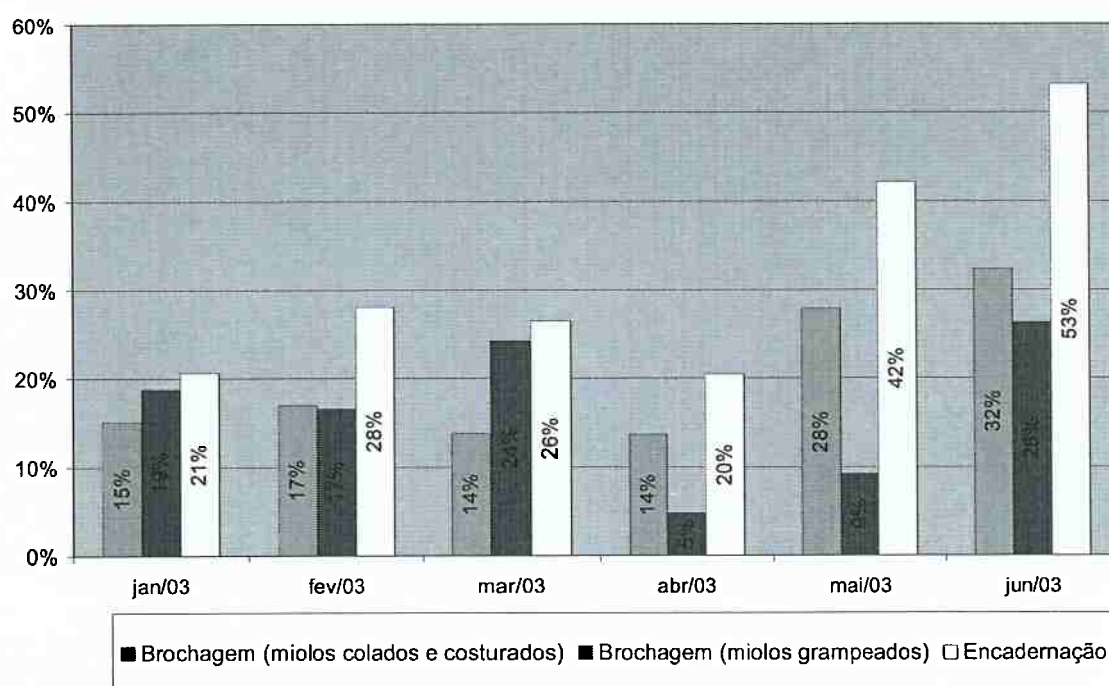
Elaborado pelo autor.

Figura 21 - Fluxograma das operações da linha de encadernação de livros.

3.2 Justificativa da escolha do objeto de estudo

Como pode ser observado à partir da análise da Figura 18, o processo de acabamento pode ser dividido em três sub-processos: encadernação, brochagem de miolos colados e costurados e brochagem de miolos grampeados. A seguir, faremos uma análise da taxa de utilização de cada uma destas linhas, para determinar aquela que mais se beneficiaria de um aumento de produtividade.

Definiremos a taxa de utilização como a razão entre as horas produtivas e as horas totais e faremos nossa análise sobre os dados históricos relativos ao primeiro semestre de 2003. O resumo desta análise encontra-se na Figura 22.



Fonfe: sistema de apontamento da produção.

Figura 22 - Taxas de utilização dos três processos de acabamento de livros.

A análise dos dados da Figura 22 revela que a linha de encadernação tem uma taxa de utilização significativamente superior à das demais linhas. Além disso, os produtos desta linha, livros encadernados, são produtos de maior valor agregado, contribuindo com a maior parcela do lucro da empresa.

Assim, o aumento da produtividade da linha de encadernação é a ação que trará os maiores resultados para a organização e será, portanto, o objetivo deste trabalho. O indicador usado para medir e analisar a produtividade desta linha é o OEE (*Overall Equipment Efficiency* – Eficiência Global dos Equipamentos).

3.3 OEE

Segundo Vorne Industries (2002), o OEE é um indicador usado para monitorar e melhorar processos de manufatura. É calculado a partir de três outros indicadores, que permitem comparar a capacidade total dos recursos produtivos com a sua produção efetiva, fornecendo um modelo muito simples, mas também muito completo, para gerenciar a produção.

O cálculo do OEE é feito à partir dos dados históricos de **tempos**, divididos em categorias conforme os **eventos** que neles ocorram. A análise começa com o **Tempo Disponível Teórico (TDT)**, o total de horas em que a fábrica está aberta e disponível para a operação dos equipamentos.

Deste TDT são subtraídas as horas referentes a eventos classificados como paradas planejadas, que incluem intervalos para descanso, refeições, manutenção programada ou períodos onde não há nada para ser produzido devido à insuficiência de vendas (tempo não vendido). O tempo restante é chamado de **Tempo Disponível Real (TDR)** e é o ponto de partida para o cálculo do OEE.

Após o cálculo do TDR, são identificadas as perdas no processo, classificadas em três categorias: perdas por paradas, perdas por operação a baixas velocidades e perdas devido à problemas de qualidade. Do TDR subtraem-se os tempos referentes às perdas por paradas, que incluem quaisquer eventos que interrompam a produção por um período de tempo considerável (em geral superior a 5 minutos). Estas perdas por paradas são também conhecidas como tempos improdutivos e incluem falhas no equipamento, falta de material para processar, tempo para acerto na troca de serviços (*setup*), entre outros. Ao tempo restante dá-se o nome de **Tempo Disponível para a Operação (TDO)**.

Do TDO descontam-se os tempos referentes às perdas por operação a baixa velocidade, que são aquelas relacionadas a qualquer evento que faça o processo operar a uma velocidade menor do que a velocidade máxima possível, também conhecida como velocidade nominal. Nesta categoria estão incluídos eventos tais como desgaste da máquina, materiais de baixa qualidade, pequenas paradas e falta de perícia do operador. O saldo desta subtração é o **Tempo Líquido de Operação (TLO)**.

Finalmente, do TLO subtraem-se as horas relativas às perdas por problemas de qualidade, que referem-se ao tempo gasto com a produção de itens não-conformes, sejam eles destinados a refugo ou a retrabalho. O tempo restante é chamado de **Tempo Útil de Operação (TUO)**.

A Figura 23 sintetiza os passos necessários para a determinação dos tempos utilizados no cálculo do OEE.

O OEE é calculado à partir do produto de três outros índices: **Índice de Disponibilidade (ID)**, **Índice de Eficiência (IE)** e **Índice de Qualidade (IQ)**.

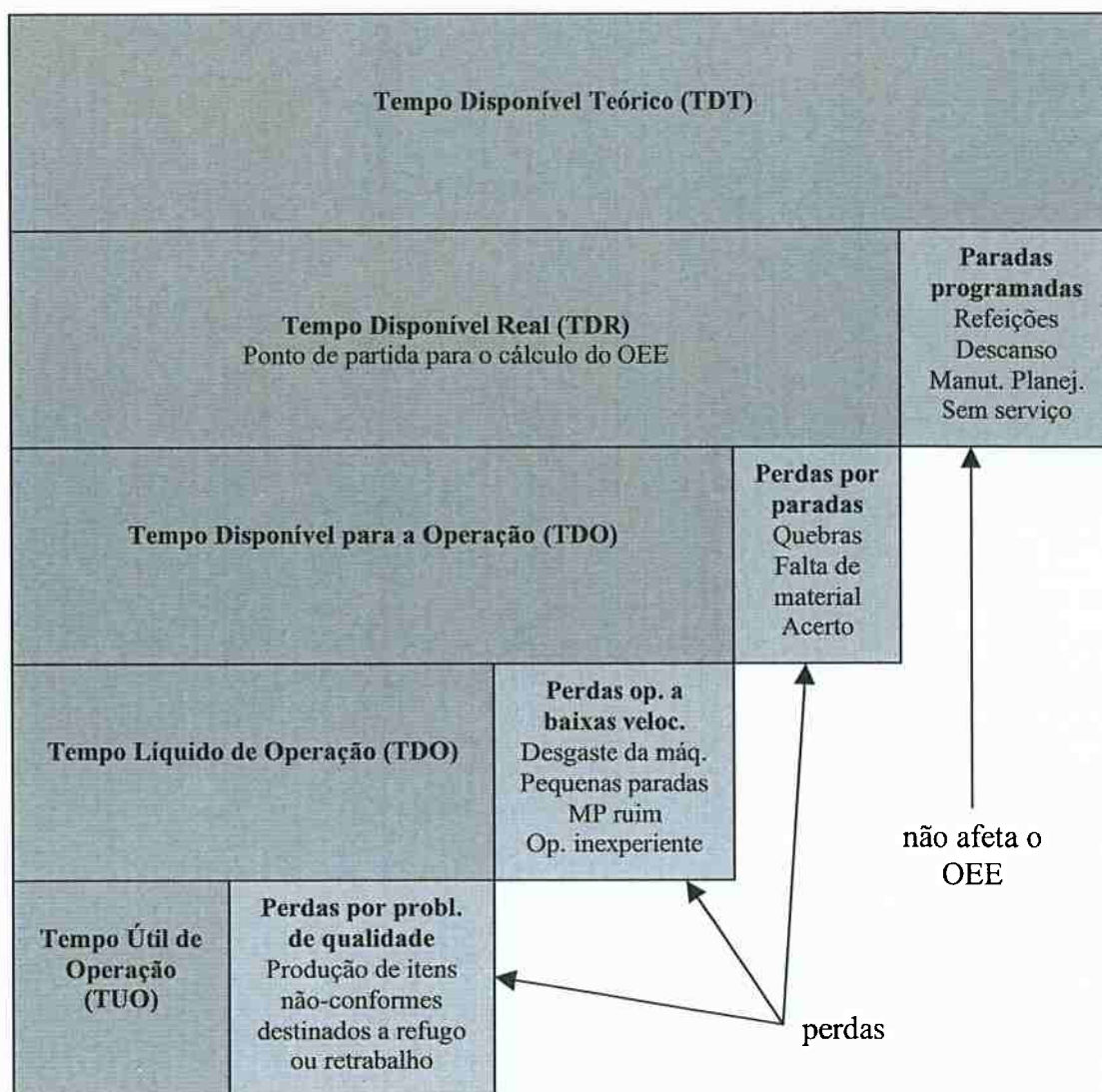
$$OEE = ID \times IE \times IQ \quad (39)$$

O índice de disponibilidade é obtido pela razão entre o TDO e o TDR.

$$ID = \frac{TDO}{TDR} \quad (40)$$

O índice de eficiência é a razão entre a produção total e a produção que seria obtida no mesmo período caso a máquina operasse na velocidade máxima e é calculada da seguinte forma:

$$IE = \frac{\text{produção total}}{TDO \times \text{velocidade nominal}} \quad (41)$$



Adaptado de Vorne Industries (2002).

Figura 23 - Tempos utilizados no cálculo do OEE.

Calcula-se o índice de qualidade pelo quociente entre a produção com qualidade e a produção total.

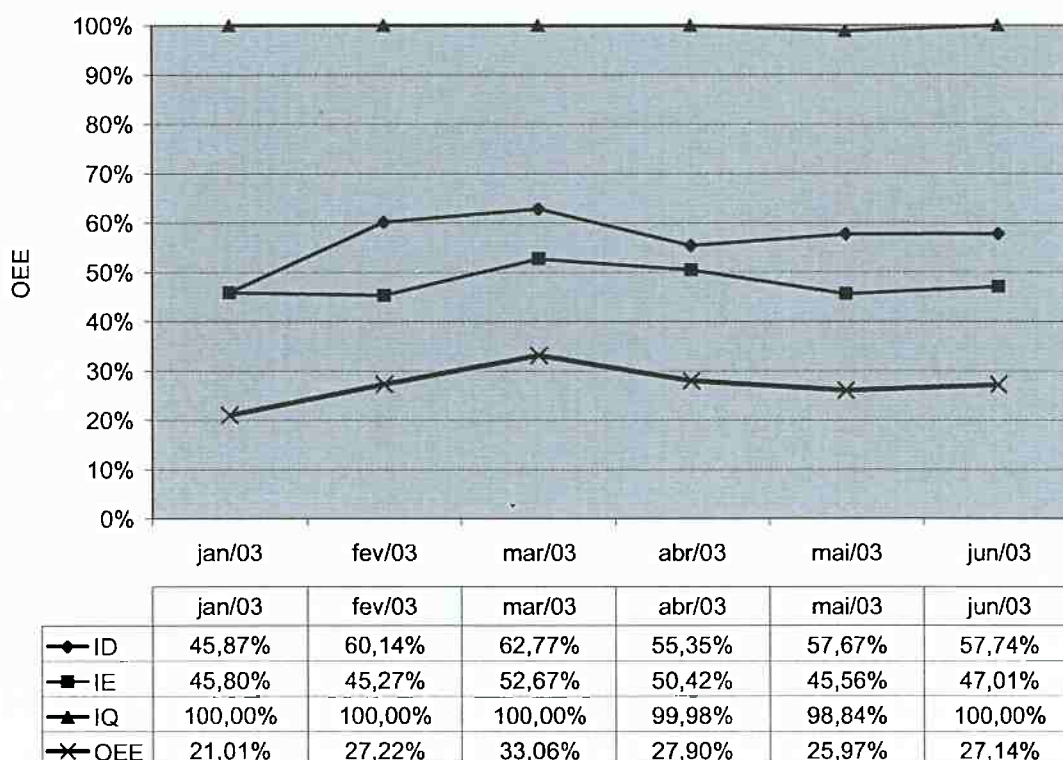
$$IQ = \frac{\text{produção com qualidade}}{\text{produção total}} \quad (42)$$

Na empresa onde este trabalho foi realizado fizeram-se algumas opções em relação ao cálculo do OEE:

- A manutenção preventiva, quando realizada em horário de funcionamento da fábrica, entra no cálculo do OEE, sendo considerada uma perda por parada e reduzindo o TDR.
- O tempo gasto com refeições e descanso também é considerado perda por parada (tempo improdutivo) e afeta o OEE.

Além disso, devido às características do sistema de apontamento da produção, a produção não conforme e destinada a retrabalho não é contabilizada nem como produção defeituosa e nem como produção boa. Isto reduz o índice de eficiência e aumenta, artificialmente, o índice de qualidade. Este fato será levado em consideração na análise o OEE.

Os dados históricos do OEE e dos índices de disponibilidade, eficiência e qualidade da linha encadernadora de livros objeto deste estudo encontram-se na Figura 24.



Fonte: sistema de apontamento da produção. Elaborado pelo autor.

Figura 24 - Dados históricos do OEE, ID, IE e IQ da linha de encadernação de livros.

A primeira constatação obtida após a análise dos dados da Figura 24 é que os valores de OEE para esta linha de produção são muito baixos. Os valores médios para os índices OEE, ID, IE e IQ para o primeiro semestre de 2003 são 27,05%, 56,62%, 47,86% e 99,81%, respectivamente. Os baixos valores dos índices de disponibilidade e de eficiência são os responsáveis pelo baixo valor do OEE.

A FCAV e a Vorne Industries (2002) descrevem as chamadas Seis Grandes Perdas, as causas mais comuns de perda de eficiência na manufatura, e que afetam negativamente o OEE.

Tabela 6 - As Seis Grandes Perdas.

Seis Grandes Perdas	Categoria de perdas no OEE	Comentários
Paradas / Tempos improdutivos	Perdas por paradas	A fronteira que separa as paradas (Perdas por Paradas) e as pequenas paradas (Perdas por Operação a Baixa Velocidade) não é muito bem definida.
Acerto (<i>setup</i>) / Ajustes	Perdas por paradas	Inclui acerto da máquina na troca de serviço pois este tempo, apesar de não poder ser eliminado, pode ser reduzido.
Pequenas paradas / esperas	Perdas por operação a baixa velocidade	Inclui paradas inferiores a 5 minutos e que não requerem intervenção do pessoal da manutenção.
Baixa velocidade de operação	Perdas por operação a baixa velocidade	Qualquer fator que impeça o equipamento de operar em sua máxima velocidade.
Perdas no acerto	Perdas por problemas de qualidade	Perdas durante a partida da máquina ou no início da produção.
Perdas durante a produção	Perdas por problemas de qualidade	Perdas quando o processo já está operando em regime.

Adaptado de Vorne Industries (2002).

Na próxima seção são apresentados dados que permitem quantificar cada uma destas Seis Grandes Perdas, identificando aquelas que mais contribuem para a redução do OEE. Isto possibilita a priorização das ações destinadas a elevar este índice.

Conforme Contador (1996), ganhos de qualidade conduzem a aumentos de apenas alguns pontos percentuais na produtividade das indústrias, enquanto que o aumento da produtividade obtido através da redução das perdas por paradas é da ordem de algumas dezenas de pontos percentuais. Portanto, este trabalho enfatiza redução das perdas por paradas, em detrimento às perdas por problemas de qualidade.

3.4 Seis Grandes Perdas – Coleta preliminar de dados

Esta seção apresenta dados relativos ao processo de encadernação de livros categorizados segundo as Seis Grandes Perdas descritas na seção anterior.

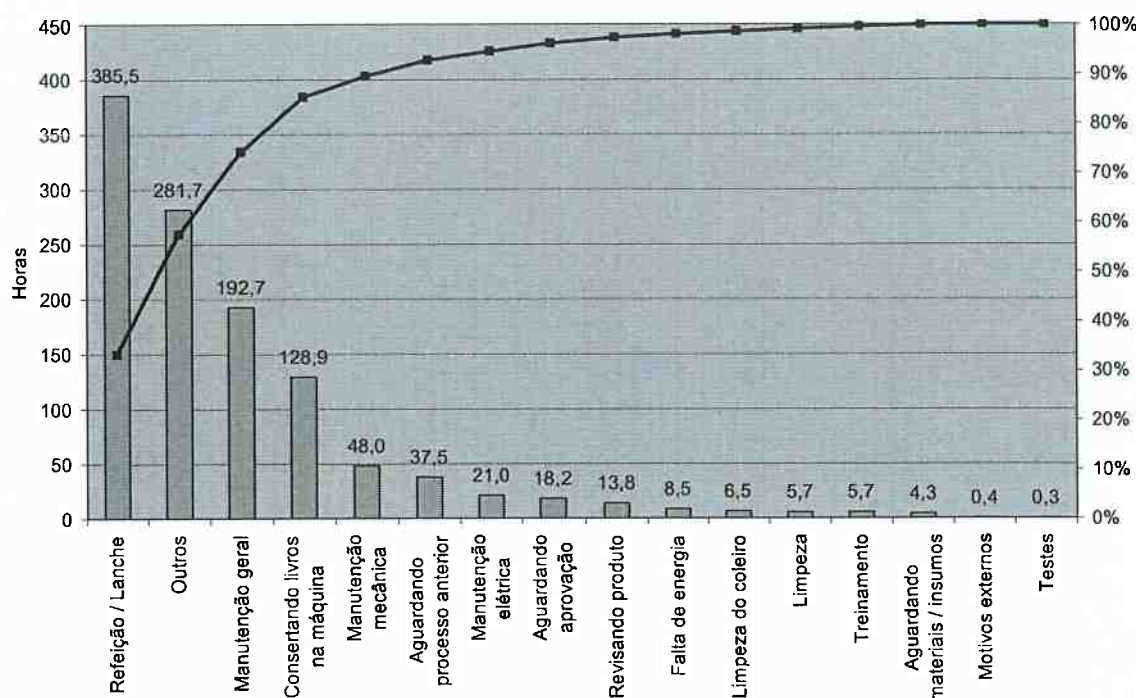
3.4.1 Paradas ou Tempos Improdutivos

Tempos improdutivos são paradas não programadas do sistema de produção. Nestas paradas estão inclusas as horas em que a máquina pára devido a refeição ou descaso dos operadores, uma vez que estes tempos não são levados em consideração na programação da produção. Manutenção, mesmo que preventiva, ocorrida durante o horário de funcionamento da fábrica, também é considerada tempo improdutivo.

A Figura 25 trás os tempos improdutivos totais do primeiro semestre de 2003 para a linha encadernadora de livros. Estes valores estão classificados em ordem decrescente em um Gráfico de Pareto.

A categoria ‘Outros’ no gráfico da Figura 25 não corresponde ao agrupamento de categorias de baixas frequências, e por isso não foi colocado à direita do eixo horizontal. Essa categoria engloba tempos improdutivos que, devido à inexistência de códigos de apontamento específicos, foram classificados como ‘outros’ pelo operador responsável pelo preenchimento do Boletim de Produção da máquina.

A análise do Gráfico de Pareto revela que quatro categorias (Refeição / Lanche, Outros, Manutenção geral e Consertando livros na máquina) respondem por 85% do total das paradas da linha encadernadora de livros. Estas são as categorias de paradas que devem ter prioridade nas ações para o aumento do OEE.



Fonte: sistema de apontamento da produção. Elaborado pelo autor.

Figura 25 - Análise de Pareto dos tempos improdutivos.

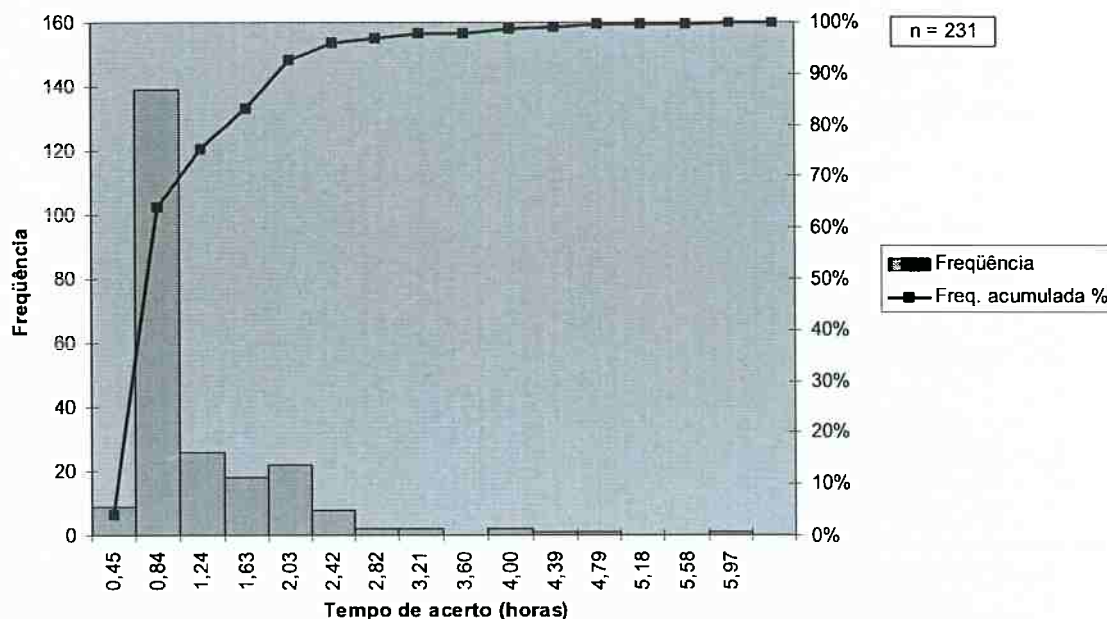
3.4.2 Ajustes / Acerto

É o tempo perdido devido aos ajustes necessários no equipamento quando da troca de tipo de serviço. Cada serviço é identificado por uma ordem de produção (OP) e representa uma obra a ser encadernada. Cada obra possui uma **tiragem**, que é a quantidade a ser produzida, conforme a encomenda do cliente. Os valores típicos de tiragem variam entre 3.000 e 25.000 exemplares.

Cada obra possui características únicas, tais como formato fechado (tamanho do livro), número de páginas, tipo da capa (dura ou flexível), tipo da lombada (redonda ou quadrada) e colocação ou não de cabeceado. A mudança de qualquer uma destas características requer ajustes na máquina, portanto quase todas as ordens de produção requerem acerto antes do início da produção.

O histograma com os valores dos tempos de acerto por ordem de produção para o primeiro semestre de 2003 está representado na Figura 26. O número total de

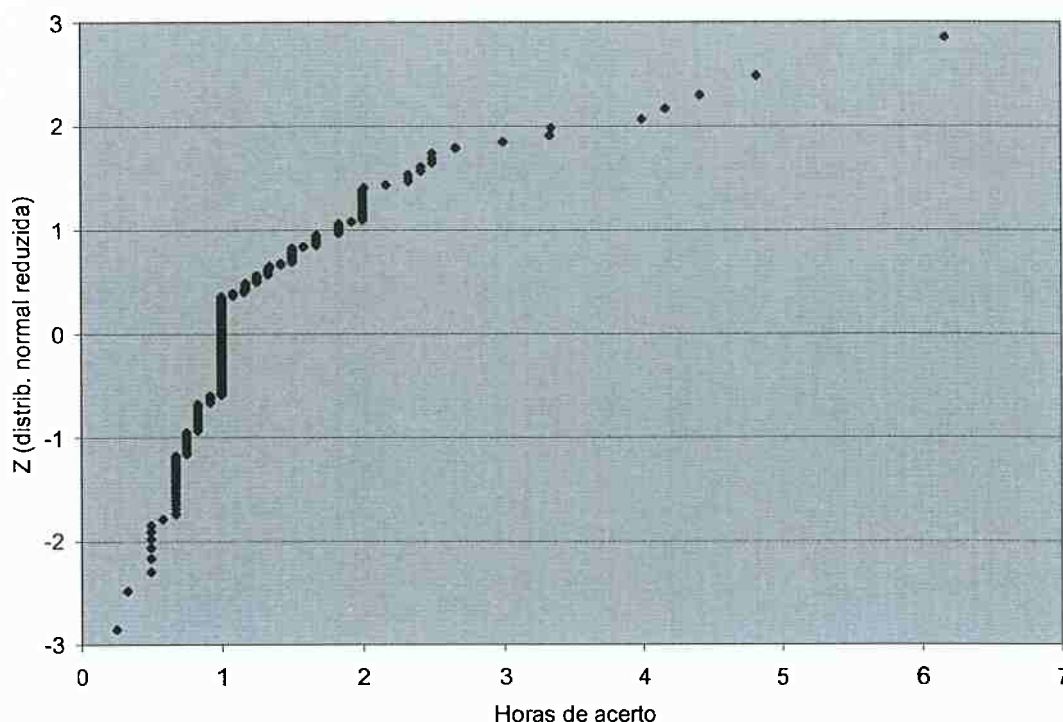
dados coletados (ordens de produção) é de 231. A análise deste histograma revela forte assimetria, indicando que os valores para o tempo de acerto não seguem uma distribuição normal, sendo que sua forma sugere que esta variável siga a distribuição Gama de probabilidade. O tempo de acerto por ordem de produção tem média de 1,25 horas e mediana de 1,00 hora.



Fonte: sistema de apontamento da produção. Elaborado pelo autor.

Figura 26 - Histograma com os tempos de acerto, primeiro semestre de 2003.

A Figura 27 mostra a análise da aderência dos valores de tempo de acerto à distribuição normal através de um gráfico em papel de probabilidade normal (PPN). A análise desta figura revela que estes dados não se ajustam satisfatoriamente a uma distribuição normal, uma vez que os pontos do gráfico não estão suficientemente alinhados, o que confirma a análise do histograma.



Fonte: sistema de apontamento da produção. Elaborado pelo autor.

Figura 27 - Teste de aderência à distribuição normal dos valores de tempo de acerto.

3.4.3 Pequenas paradas

O sistema de apontamento da produção da gráfica não permitia a análise das pequenas paradas, uma vez que o operador registrava no Boletim de Produção apenas as paradas significativamente longas. Assim, paradas de poucos minutos eram ignoradas.

Para contornar este problema, foi feita uma coleta de dados em campo para a quantificação e classificação destas pequenas paradas, através da técnica de Amostragem do Trabalho. Segundo Maynard (1970, p. 113), “um estudo de Amostragem do Trabalho consiste em um grande número de observações feitas em intervalos ao acaso; ao realizar-se a observação, o estado ou condições do objeto de estudo é anotado, e este estado é classificado em categorias predefinidas de atividades pertinentes à situação particular do trabalho. A partir das proporções das

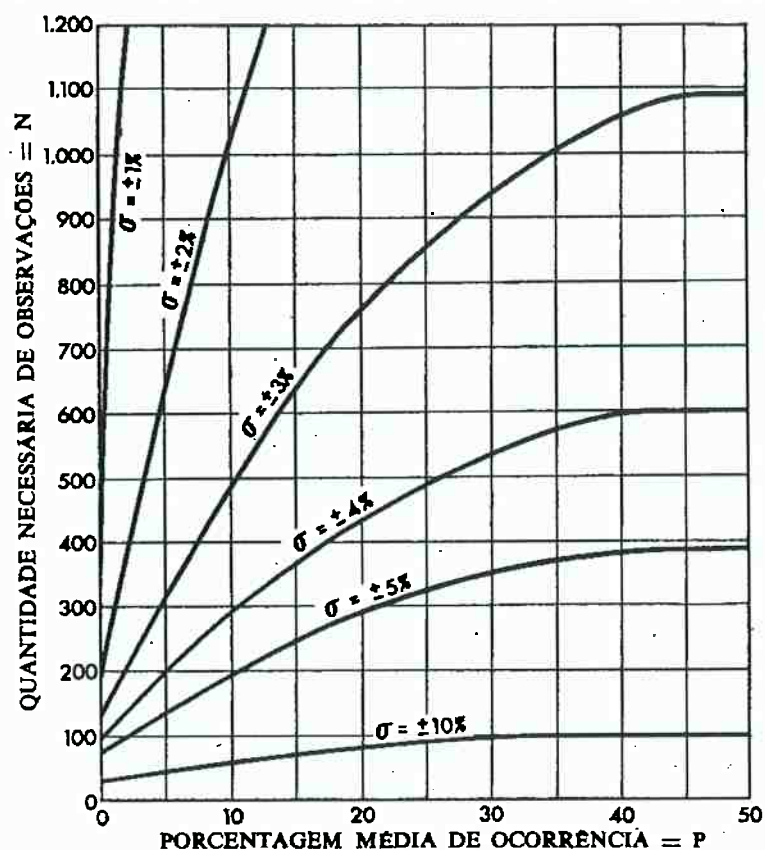
observações em cada categoria, são realizadas inferências relativas à atividade total do trabalho em estudo”.

O instrumento utilizado na coleta de dados da Amostragem do Trabalho é a folha de verificação (ver seção 2.2.1). Para este estudo, foi criada uma folha de verificação onde foram listados todos os principais motivos de parada da máquina, assim como os eventos ‘Produzindo’ e em ‘Acerto’. Este formulário apresenta ainda campos que permitem identificar a máquina ou equipamento objeto do estudo, a pessoa responsável pela coleta dos dados e as datas de início e de término da observação. O modelo de folha de verificação usada encontra-se no Anexo A.

As observações foram feitas em intervalos de tempo ao acaso, obtidos através da geração de uma seqüência de números aleatórios no Microsoft Excel e sua associação a horários dentro do expediente de estágio. Foram coletados dados dos turnos 1 e 2, não tendo sido possível fazer observações do terceiro turno (os horários dos turnos são: turno 1, das 6:00 às 14:00h; turno 2, das 14:00 às 22:00h e turno 3, 22:00 às 6:00h). Em cada observação, foi verificado o estado da linha de produção e feita uma marca na categoria correspondente, no campo ‘Observações’. Foram feitas em média 20 observações por dia.

Para a estimativa do número de observações necessárias foi utilizado o gráfico proposto por Sammet; Malcon apud Maynard (1970) e reproduzido na Figura 28. Segundo este gráfico, para um erro admitido de + ou – 5 % e estimando-se uma porcentagem média de ocorrência (P) de 5%, concluiu-se que seriam necessárias aproximadamente 140 observações.

A coleta de dados estendeu-se por 14 dias, no mês de setembro de 2003. Deve-se observar que, quando da coleta destes dados, algumas ações de melhoria já haviam sido tomadas, tendo portanto influenciado os resultados obtidos (ver seção 3.9.2). Os dados coletados encontram-se na Tabela 7. Estes dados estão representados também no Gráfico de Pareto mostrado na Figura 29.



Fonte: Maynard (1970, p. 125).

Figura 28 - Quantidade necessária de observações na amostragem do trabalho em função do nível de erro.

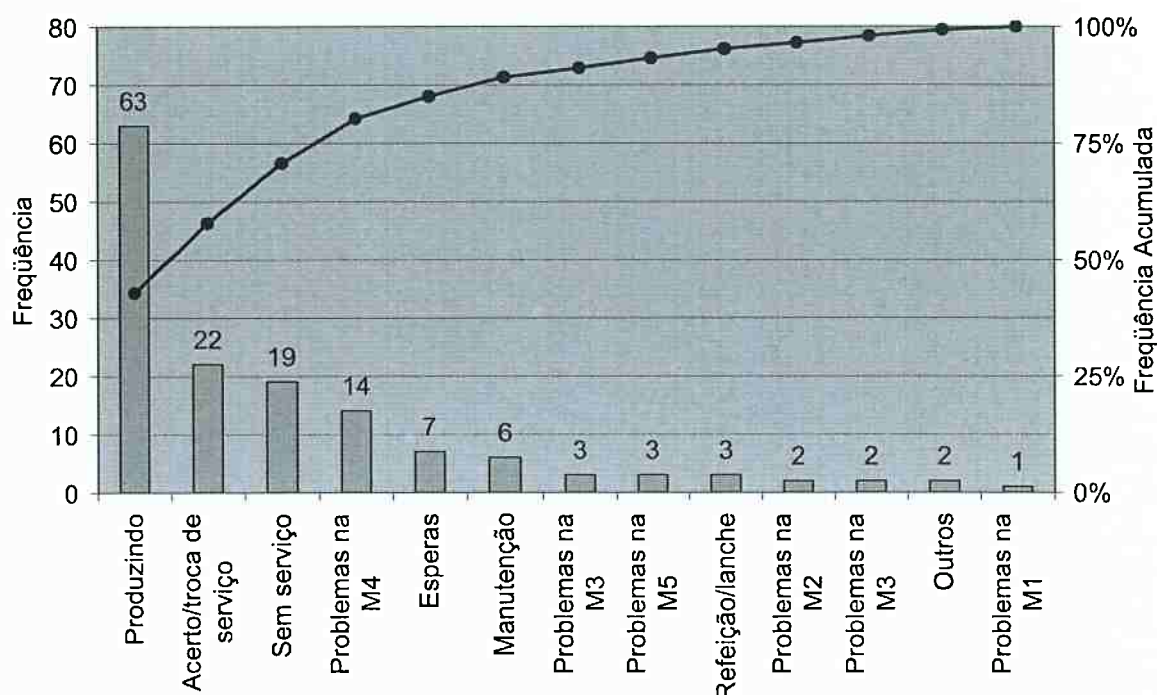
Tabela 7 - Pequenas Paradas: resultados da Amostragem do Trabalho.

Categoria	Item	Freq.	Freq. (%)
Produtivos	Produzindo	63	42,86%
Improdutivos	Espera (material, processo anterior, autorização, inf. complem., etc.)	7	4,76%
	Problema M1 (alimentação miolos, colagem crepe)	1	0,68%
	Problema M2 (refile tri-lateral)	2	1,36%
	Problema M3 (alimentação de miolos com crepe)	3	2,04%
	Problema M3 (arredondamento lombada, colocação cabeceado)	2	1,36%
	Problema M4 (aliment. capas, aplic. cola na guarda, colocação capas)	14	9,52%
	Problema M5 (vinco, prensagem, saída)	3	2,04%
	Fazendo retrabalho manualmente com a linha/máq. parada	0	0,00%
	Manutenção (geral / elétrica / mecânica)	6	4,08%
	Limpeza	0	0,00%
	Treinamento	0	0,00%
	Sem serviço	19	12,93%
	Refeição / Lanche	3	2,04%
	Outros	2	1,36%
Acerto	Acerto / troca de serviço	22	14,97%
TOTAL		147	100,00%

Fonte: dados coletados pelo autor.

3.4.4 Baixa velocidade de operação

A velocidade nominal máxima da linha de encadernação de livros é de 3.000 livros por hora. Através de observações diretas da produção constatou-se que o equipamento é regulado em velocidades que variam entre 2.400 a 2.700 livros por hora, o que representa uma velocidade entre 80% a 90% da velocidade máxima.



Fonte: dados coletados pelo autor.

Figura 29 - Pequenas Paradas: análise de Pareto.

Estes valores não são suficientes para justificar o baixo índice de eficiência (47,86%), o que sugere que outros fatores que não a velocidade ajustada da máquina influem na sua eficiência. O valor da velocidade e o índice de eficiência relacionam-se segundo a equação:

$$IE = \frac{\text{Velocidade Média}}{\text{Velocidade Máxima}} \quad (43)$$

A análise dos fatores que influem na velocidade de operação é apresentada mais adiante, neste trabalho (seção 3.8.4).

3.4.5 Perdas no acerto

Perdas no acerto são as perdas durante o tempo em que o equipamento está sendo ajustado, durante a troca de serviço. São consideradas todas as perdas desde o início do acerto até o momento em que a máquina esteja operando em condições estáveis de velocidade e qualidade.

Os dados disponíveis no sistema de apontamento da produção sobre perdas no acerto não eram confiáveis, pois na maioria das vezes os operadores não registravam pequenas perdas, anotando apenas as perdas de maior importância. Por isso foi necessário proceder a uma coleta de dados no chão-de-fábrica para a estimativa da quantidade de produto não-conforme produzida durante o acerto da máquina.

Foram coletadas 39 amostras, cada amostra referente à perda no acerto de uma ordem de produção (OP) diferente. Os dados coletados são apresentados na Tabela 8.

Tabela 8 - Perdas durante o acerto / ajuste da máquina.

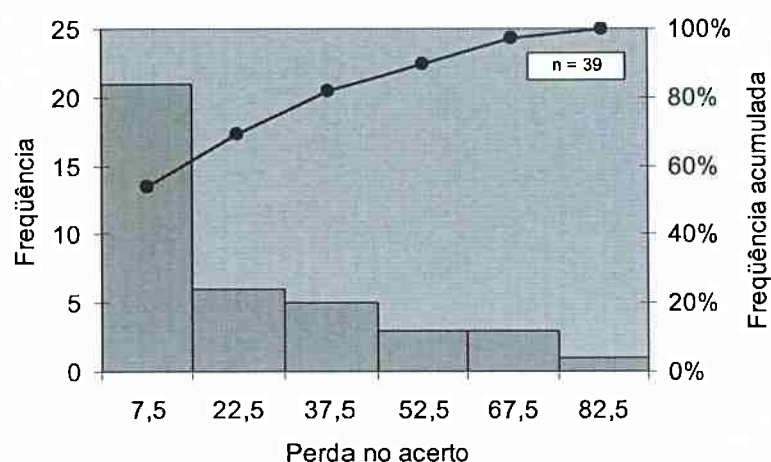
OP	Perda	OP	Perda	OP	Perda	OP	Perda
1	26	11	63	21	7	31	10
2	0	12	6	22	39	32	71
3	0	13	11	23	39	33	3
4	1	14	30	24	48	34	4
5	2	15	45	25	49	35	20
6	5	16	8	26	4	36	86
7	6	17	0	27	7	37	2
8	8	18	29	28	21	38	28
9	12	19	70	29	31	39	7
10	32	20	2	30	57		

Fonte: dados coletados pelo autor.

A Figura 30 mostra um histograma elaborado à partir dos dados da Tabela 8 e a Figura 31 apresenta estes mesmos dados em papel de probabilidade normal (PPN). A análise destas duas figuras revela que a variável ‘perdas no acerto’ não segue a distribuição normal de probabilidade.

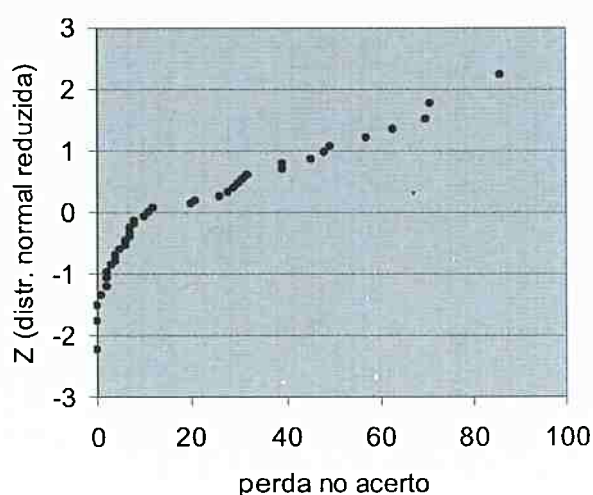
3.4.6 Perdas durante a produção

Por perda durante a produção entende-se a quantidade de produtos não-conformes produzida após o término do acerto do equipamento, quando o processo já atingiu condições estáveis de velocidade e qualidade. Como já foi mencionado anteriormente (ver seção 3.3), as perdas durante a produção eram subestimadas, uma vez que os itens com defeito e destinados a retrabalho não eram apontados como perdas.



Fonte: dados coletados pelo autor

Figura 30 - Histograma com as perdas durante o acerto.



Fonte: dados coletados pelo autor

Figura 31 - Perdas no acerto – análise da aderência à distribuição normal.

Por este motivo, foi necessário proceder a uma coleta de dados em campo para a estimativa da fração defeituosa (p) produzida. Esta coleta foi feita por amostragem durante um período de duas semanas. Para a determinação do tamanho da amostra utilizou-se uma estimativa de $p = 2,86\%$, baseada em levantamentos anteriores. Através do uso da eq. (10) obteve-se um tamanho de amostra de 180 elementos.

O sistema de amostragem utilizado foi o de coleta de unidades sucessivas na saída da linha de produção (ver seção 2.3.2). Foi tomado o cuidado de se observar, durante a coleta das amostras, a ocorrência de quaisquer causas assinaláveis de variação no processo. Caso fossem observadas causas assinaláveis de variação, esta informação era inserida na folha de verificação utilizada nesta coleta de dados (ver Anexo B).

Foram coletadas 43 amostras, cujos dados encontram-se na Tabela 9.

Nas seções seguintes serão feitas as análises de estabilidade e de capacidade do processo em relação às perdas durante a produção.

3.5 Análise da estabilidade do processo

Nesta seção será feita a análise da estabilidade do processo de encadernação de livros em relação aos seguintes aspectos: tempo de ajuste / acerto, velocidade de operação, perdas no acerto e perdas durante a produção. Os objetivos dessa análise são verificar se estas variáveis e atributos estão sob controle estatístico e, em caso afirmativo, estimar seus parâmetros – tendência central e dispersão.

A análise da estabilidade do processo é a base para a posterior busca de causas assinaláveis de variação, para os processos fora de controle, e o estudo da capacidade do processo, para os processos sob controle estatístico. O passo final é a construção de Gráficos de Controle para estas variáveis e atributos.

Tabela 9 – Coleta de dados – fração defeituosa durante a produção (p).

Amos- tra	N. de defeituosos	Tam. da amostra	Fração defeituosa (p)	Data	Hora	Turno	Causas assinalá- veis?	Descr. causa assinalável
1	4	180	0,0222	1/9/03	09:07	1	Não	
2	4	180	0,0222	1/9/03	10:15	1	Não	
3	1	180	0,0056	1/9/03	11:07	1	Não	
4	2	180	0,0111	1/9/03	12:47	1	Não	
5	2	180	0,0111	1/9/03	13:45	1	Não	
6	20	100	0,2000	3/9/03	08:51	1	Sim	Sem cabeceado
7	30	180	0,1667	3/9/03	09:34	1	Sim	Guarda sem cola
8	7	180	0,0389	3/9/03	11:45	1	Não	
9	3	180	0,0167	3/9/03	12:30	1	Não	
10	6	180	0,0333	3/9/03	13:34	1	Não	
11	9	180	0,0500	3/9/03	14:17	2	Não	
12	19	180	0,1056	3/9/03	15:01	2	Sim	Problema da cola da guarda
13	3	180	0,0167	3/9/03	15:42	2	Não	
14	12	180	0,0667	3/9/03	16:00	2	Sim	Excesso de cola na guarda
15	6	180	0,0333	3/9/03	16:50	2	Não	
16	3	180	0,0167	4/9/03	08:30	1	Não	
17	7	180	0,0389	4/9/03	09:25	1	Não	
18	2	180	0,0111	4/9/03	10:08	1	Não	
19	8	180	0,0444	4/9/03	11:46	1	Não	
20	0	180	0,0000	4/9/03	13:10	1	Não	
21	5	180	0,0278	4/9/03	13:52	1	Não	
22	10	180	0,0556	5/9/03	08:08	1	Sim	Problema de cola na guarda
23	3	180	0,0167	5/9/03	09:40	1	Não	
24	3	180	0,0167	5/9/03	10:49	1	Não	
25	2	180	0,0111	5/9/03	12:11	1	Não	
26	2	180	0,0111	5/9/03	13:11	1	Não	
27	1	180	0,0056	5/9/03	13:56	1	Não	
28	10	180	0,0556	8/9/03	12:09	1	Sim	Problema devido a processo anterior
29	6	180	0,0333	8/9/03	12:45	1	Sim	Problema devido a processo anterior
30	8	180	0,0444	8/9/03	12:55	1	Sim	Problema devido a processo anterior
31	7	180	0,0389	8/9/03	14:20	2	Sim	Problema devido a processo anterior
32	4	180	0,0222	8/9/03	15:20	2	Não	
33	1	180	0,0056	8/9/03	17:01	2	Não	
34	4	180	0,0222	10/9/03	12:50	1	Não	
35	0	180	0,0000	10/9/03	14:40	2	Sim	Revisor substituto não inspeciona todos os livros
36	1	180	0,0056	10/9/03	14:48	2	Sim	Revisor substituto não inspeciona todos os livros
37	4	180	0,0222	10/9/03	16:02	2	Sim	Revisor substituto não inspeciona todos os livros
38	9	180	0,0500	12/9/03	07:50	1	Não	
39	5	180	0,0278	12/9/03	09:15	1	Não	
40	14	180	0,0778	12/9/03	10:36	1	Não	
41	2	180	0,0111	12/9/03	12:18	1	Não	
42	8	180	0,0444	12/9/03	13:20	1	Sim	Regulagem do cabeceado
43	3	180	0,0167	12/9/03	13:29	1	Não	

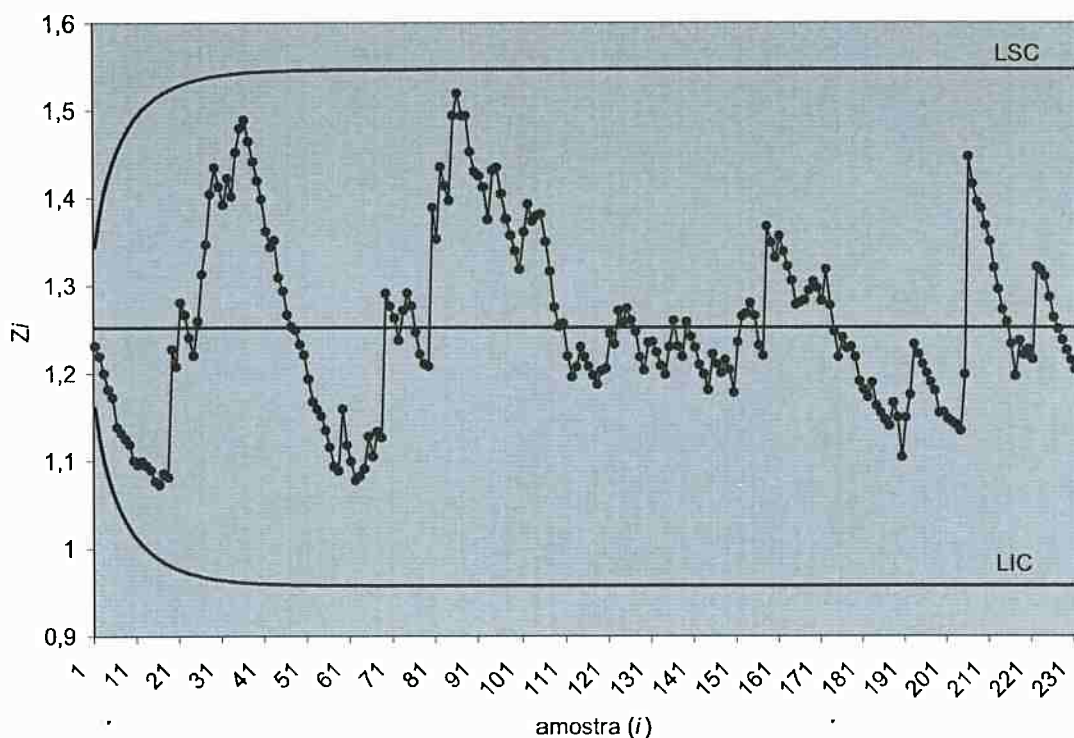
Fonte: dados coletados pelo autor.

3.5.1 Tempo de ajuste / acerto

Conforme verificado na seção 3.4.2, a variável ‘tempo de ajuste / acerto’ não segue uma distribuição normal de probabilidade, aparentando seguir uma distribuição Gama, conforme indica o histograma da Figura 26. Por este motivo, não é possível utilizar, para esta variável, o Gráfico de Controle descrito na seção 2.3.1, conhecido como Gráficos de Controle de Shewhart para variáveis, pois este apenas se aplica a variáveis que se comportem segundo a distribuição normal de probabilidade.

Desta forma, usaremos o GC descrito por Montgomery (2001), chamado EWMA (*Exponentially Weighed Moving Average* – Média Móvel Exponencialmente Ponderada). A grande vantagem deste GC é que, conforme os valores escolhidos para seus parâmetros, é quase independente da distribuição de probabilidade da variável (ver seção 2.3.3).

A Figura 32 apresenta o Gráfico de Controle elaborado à partir dos valores de tempo de ajuste/acerto do primeiro semestre de 2003 na linha de encadernação de livros. Foram utilizadas as eqs. (17) a (20) e os valores de λ e L especificados na seção 2.3.3 e que minimizam o efeito da não normalidade da distribuição.



Elaborado pelo autor.

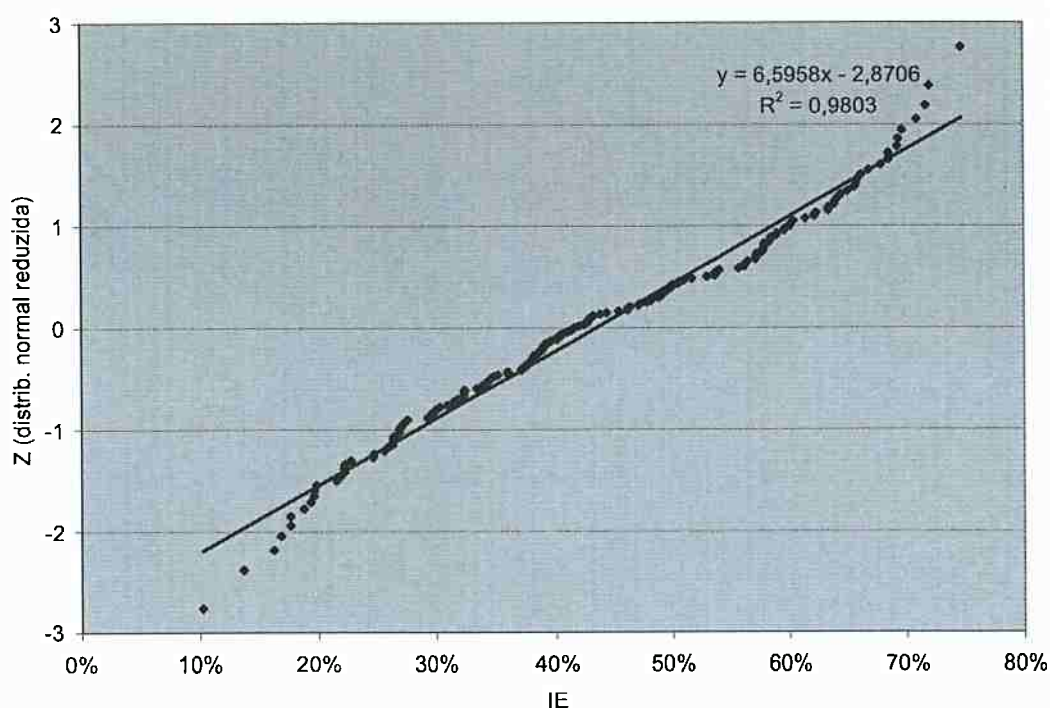
Figura 32 - Gráfico de Controle tipo EWMA para os tempos de acerto da linha de produção – primeiro semestre de 2003.

A análise do GC da Figura 32 revela que esta variável está sob controle estatístico, uma vez que nenhum dos pontos localiza-se além dos limites de controle.

3.5.2 Velocidade de operação

Foi utilizado o índice de eficiência (*IE*) como indicativo da velocidade média, pois estas duas variáveis estão relacionadas conforme a eq. (43). Para a análise de estabilidade do *IE* foi utilizada uma amostra de 177 ordens de produção, referentes à produção da linha de encadernação nos meses de maio a julho de 2003.

Primeiramente, foi verificada a aderência dos dados de *IE* à distribuição normal de probabilidade. Esta análise encontra-se na Figura 33.



Elaborado pelo autor.

Figura 33 - Verificação da aderência dos valores amostrais do IE à distribuição normal de probabilidade.

A análise do gráfico da Figura 33 mostra que os pontos estão bastante alinhados, o que permite assumir que se distribuem segundo uma distribuição normal. Este gráfico revela ainda que a média e o desvio padrão do *IE* valem aproximadamente 43% e 15%, respectivamente.

O próximo passo foi a construção dos gráficos de controle para a amplitude móvel (MR) e para os valores individuais (x). Estes gráficos foram elaborados usando-se as eqs. (2) a (8).

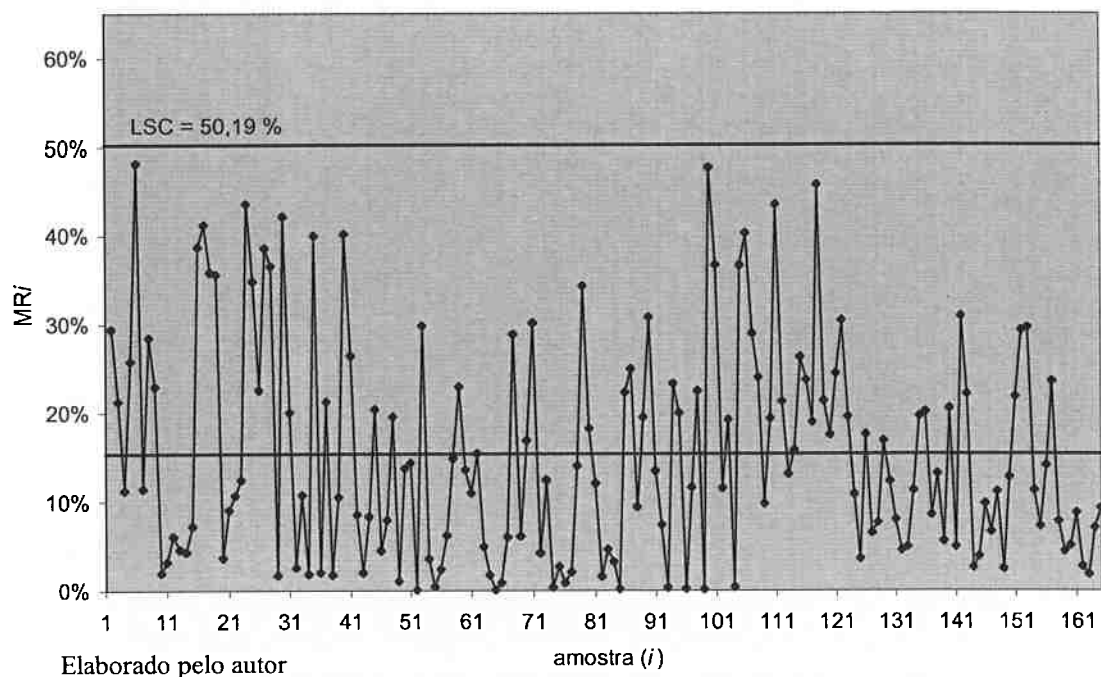


Figura 34 - Gráfico de Controle para a amplitude móvel (MR).

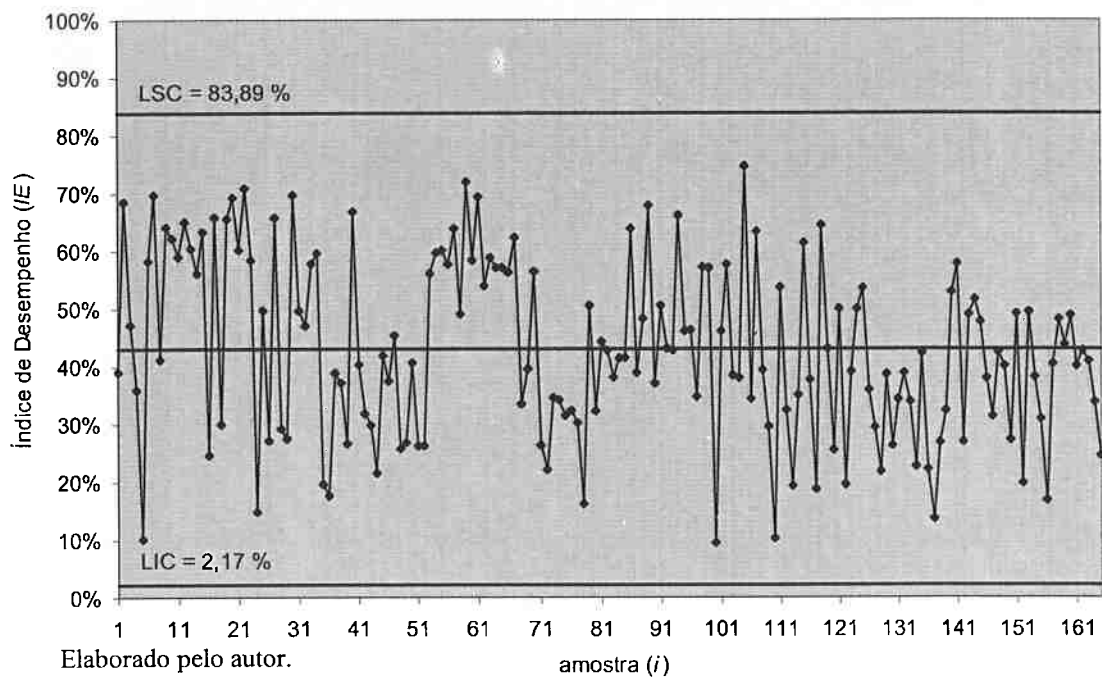


Figura 35 - Gráfico de Controle para os valores individuais do IE .

A análise da Figura 34 mostra que a amostra não revela padrões de não aleatoriedade nos dados, o que permite dizer que a amplitude móvel está sob controle estatístico.

Já o GC para os valores individuais apresentado na Figura 35 mostra fortes evidências de que a variável não está sob controle estatístico, devido às grandes seqüências de valores consecutivos acima e abaixo da LC. Estas seqüências são: 15 valores acima da LC, entre as amostras 53 e 67; 8 valores abaixo da LC, entre as amostras 71 e 78; e 14 valores abaixo da LC, entre as amostras 126 e 139.

Além dos indícios de que a variável esteja fora de controle, a análise dos limites de controle mostra que estes são muito amplos, isto é, a variável *IE* tem grande variação. Portanto, causas assinaláveis de variação devem ser identificadas.

Uma estimativa preliminar, ainda que pouco confiável, para a média e o desvio padrão do índice de desempenho podem ser obtidas através das eqs. (6) e (9) e valem 43,03% e 13,62%, respectivamente.

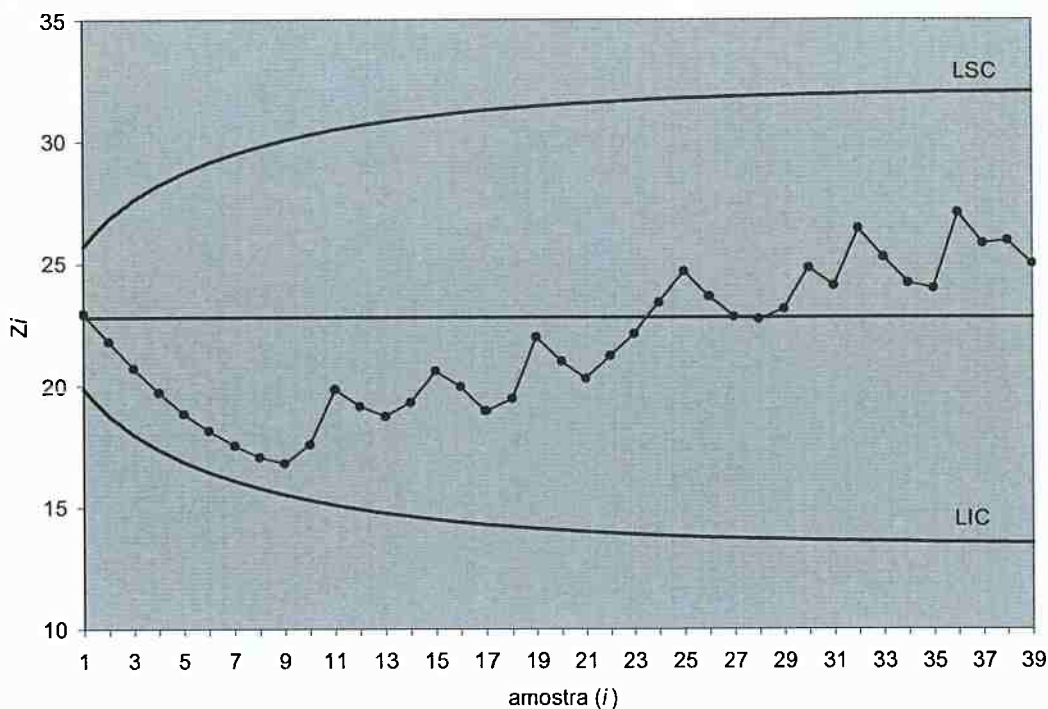
3.5.3 Perdas no acerto

Esta variável não segue a distribuição normal de probabilidade, conforme análise feita na seção 3.5.4. Portanto, usaremos o gráfico de controle tipo EWMA para a análise de estabilidade (ver seção 3.5.1 para detalhes sobre este tipo de GC).

O GC elaborado utilizando-se as eqs. (17) a (20) e os valores de λ e L apresentados na seção 3.5.1 encontra-se na Figura 36.

A análise do GC revela que, apesar de nenhum ponto estar além dos limites de controle, existe uma clara tendência de crescimento nos valores de perda no acerto. Durante a coleta de dados estava sendo implantado um novo sistema de apontamento da produção, o que representa uma causa provável para explicar esta tendência, uma vez que este novo sistema é mais rigoroso no registro das perdas durante o acerto do que o sistema antigo.

Portanto, é recomendável que seja feito um acompanhamento contínuo desta variável, com o objetivo de avaliar seu comportamento quando o novo sistema de apontamento já estiver plenamente implementado.



Elaborado pelo autor.

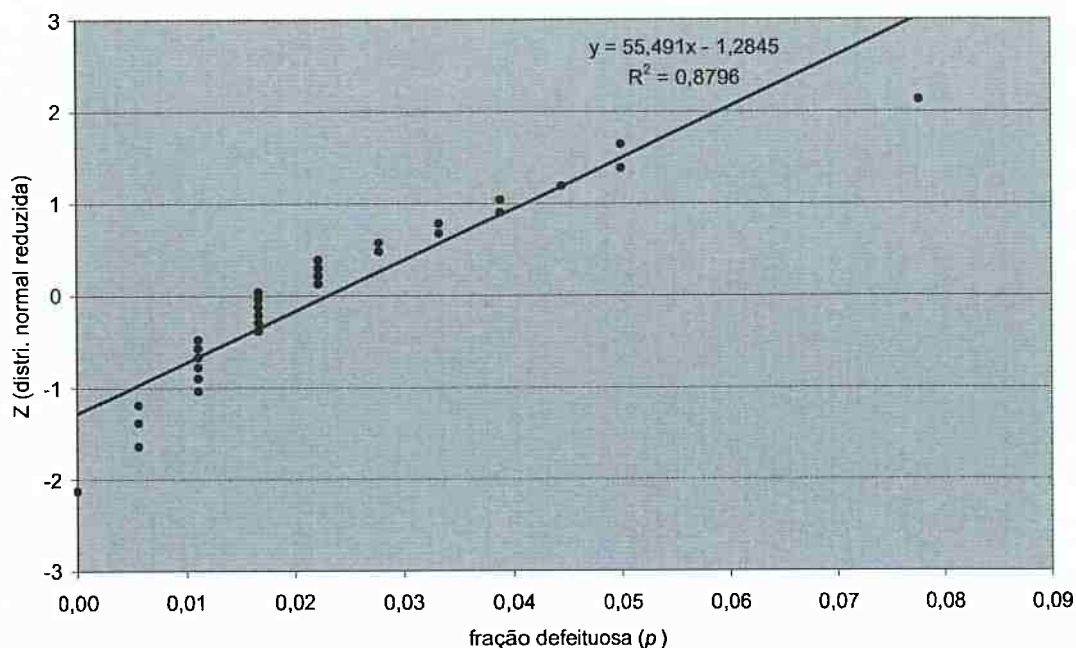
Figura 36 - Perdas no acerto – Gráfico de Controle tipo EWMA.

3.5.4 Perdas durante a produção

Devido a problemas no sistema de apontamento da produção, foi feita uma coleta de amostras junto à saída da máquina para a determinação da fração de itens defeituosos (p) produzida após o término do acerto, quando a linha já opera em regime.

A análise de estabilidade foi feita a partir dos dados coletados apresentados na Tabela 9. A primeira providência foi determinar se estes dados seguem uma distribuição normal de probabilidade, através de gráfico em papel de probabilidade normal, apresentado na Figura 37.

Este gráfico, construído apenas com as amostras para as quais não foram observadas causas assinaláveis de variação (30 amostras), apresenta um comportamento que permite que a variável fração defeituosa seja modelada segundo uma distribuição normal de probabilidade.



Elaborado pelo autor.

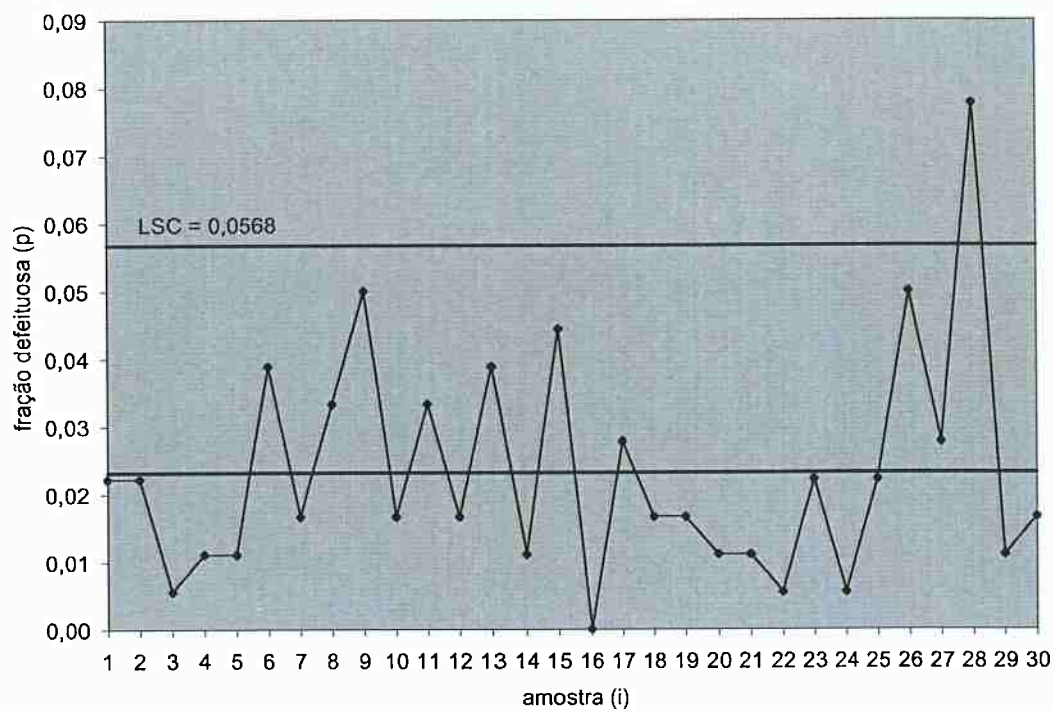
Figura 37 - Verificação da aderência dos valores amostrais da fração defeituosa (p) à distribuição normal de probabilidade.

Uma vez satisfeita a hipótese de normalidade dos dados amostrais para p , o próximo passo foi a construção do Gráfico de Controle para este atributo. Este gráfico encontra-se na Figura 38.

A análise desse gráfico revela que a fração defeituosa está fora de controle estatístico, pois existe um ponto acima do LSC e uma sequência de 8 amostras abaixo da linha central, entre as amostras 18 a 25.

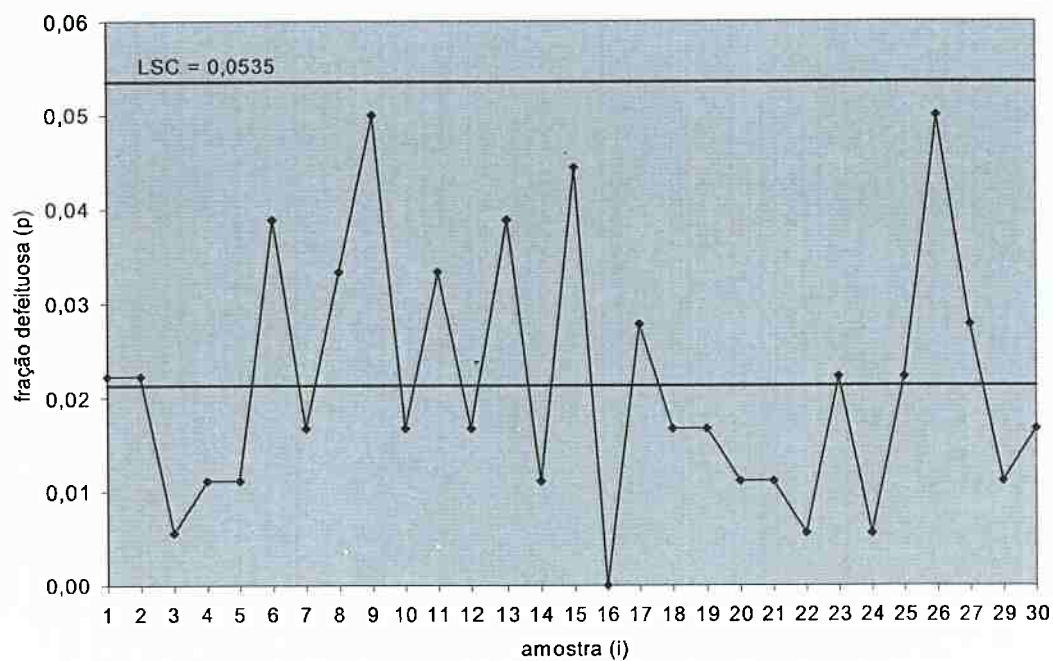
Eliminando-se o ponto fora de controle (amostra 28) e recalculando-se a LC, o LSC e o LIC obtém-se o GC ilustrado na Figura 39. Este novo gráfico revela um comportamento sob controle, sem pontos fora dos limites de especificação ou qualquer outro padrão que revele não aleatoriedade dos dados.

À partir do GC da Figura 39, estima-se a média da fração defeituosa em 0,0213 ou 2,13 %, e o desvio-padrão em 0,0108 ou 1,08 %.



Elaborado pelo autor.

Figura 38 - Gráfico de Controle para a fração defeituosa (p).



Elaborado pelo autor.

Figura 39 - Gráfico de Controle para a fração defeituosa (p) após a eliminação do ponto fora de controle.

3.6 Busca de causas assinaláveis de variação

Nesta seção, são descritas as ações tomadas para a identificação de causas assinaláveis de variação para o processo fora de controle estatístico (ver seção 3.5). O objetivo desta medida foi a redução da variabilidade no processo, seja através da identificação e eliminação de causas assinaláveis, seja através de nova estratificação dos dados amostrais.

3.6.1 Velocidade de operação

Conforme análise anterior (3.5.2), a variável ‘velocidade de operação’ está fora de controle estatístico. À partir de conversas com operadores e supervisores do processo, além da observação direta da linha de produção, concluiu-se que a velocidade de operação é fortemente influenciada pelas características do livro a ser encadernado.

Portanto, é oportuno analisar o impacto destas características sobre a variável velocidade de operação. Para tanto, foi usada a ferramenta estatística ‘Delineamento de Experimentos’ (DEX), conforme descrito na seção 2.5. O objetivo desta análise foi determinar quais fatores têm influência sobre velocidade de operação, e em que magnitude.

O DEX foi realizado à partir de dados históricos de produção, obtidos do banco de dados de apontamento da produção da empresa. Isto porque seria inviável fazer testes na máquina simulando as diversas combinações possíveis de fatores e níveis.

Foram pesquisadas 188 ordens de produção do primeiro semestre de 2003, identificando-se, para cada uma, as seguintes informações: número de páginas, formato pé-cabeça (PC), tipo de capa (dura ou flexível), tipo de lombada (redonda ou quadrada), presença de cabeceado (sim ou não) e velocidade média de operação. Estes dados encontram-se no Anexo C.

A análise destes dados revelou que alguns fatores possuíam um nível muito mais freqüente do que o outro. Assim, apenas 13% dos livros produzidos não possuíam cabeceado, apenas 21 % tinham capa flexível e somente 39 % eram

encapados com lombada tipo quadrada. Este fato limitou a possibilidade de uso de muitos fatores pois, com os dados disponíveis, não era possível obter replicações suficientes para todos os experimentos.

Desta forma, considerando-se tanto a relevância de cada fator quanto a disponibilidade de dados históricos, optou-se por trabalhar com três fatores: número de páginas, formato pé-cabeça (PC) e tipo de capa. Estes fatores, e seus respectivos níveis, encontram-se na Tabela 10.

Tabela 10 – Fatores e níveis utilizados no Delineamento de Experimentos para a análise da velocidade de operação da linha de produção.

Fator / Nível	Nível baixo (-1)	Nível alto (+1)
(A) Número de páginas	≤ 384	> 384
(B) Formato PC (mm)	≤ 224	> 224
(C) Tipo de capa	Dura	Flexível

Elaborado pelo autor.

Para a obtenção dos limites dos fatores ‘número de páginas’ e ‘formato PC’, utilizou-se a mediana dos valores amostrais de cada um deles, de forma a dividir a amostra em dois grupos de igual tamanho.

A variável de resposta escolhida foi a velocidade média, que pode ser relacionada ao índice de eficiência (IE) do OEE através da eq. (43).

O modelo de delineamento escolhido foi o fatorial 2^3 completo, com sete replicações ($n = 7$). O número de replicações escolhido foi o máximo possível dado o tamanho da amostra.

Os cálculos foram realizados utilizando-se aplicativo de planilha eletrônica (Microsoft Excel). A planilha e os dados utilizados encontram-se na Tabela 11.

Tabela 11 - Planilha e dados utilizados no Delineamento de Experimentos.

Experimento	A	B	AB	C	AC	BC	ABC	Valores observados							Total	
1	(1)	-1	-1	1	-1	1	1	-1	1.864	1.314	1.618	958	2.152	2.092	1.961	11.959
2	a	1	-1	-1	-1	1	1	1	1.735	1.749	1.756	1.238	1.868	1.754	1.974	12.073
3	b	-1	1	-1	-1	1	-1	1	1.953	1.685	740	901	813	466	800	7.358
4	ab	1	1	1	-1	-1	-1	-1	305	457	818	1.814	447	1.168	1.116	6.124
5	c	-1	-1	1	1	-1	-1	1	883	381	1.106	1.259	775	1.219	1.133	6.756
6	ac	1	-1	-1	1	1	-1	-1	2.056	2.056	556	575	1.209	952	895	8.301
7	bc	-1	1	-1	1	-1	1	-1	1.173	1.417	1.079	919	887	877	530	6.883
8	abc	1	1	1	1	1	1	1	904	1.735	1.362	1.188	563	767	506	7.026

Elaborado pelo autor.

À partir dos dados da Tabela 11, e utilizando-se as eqs. (31) a (33), foram calculados os contrastes, efeitos e soma de quadrados de cada fator e interação. O passo seguinte foi a análise de variância para a determinação dos fatores e/ou interações significativos. A planilha com esta análise de variância encontra-se na Tabela 12.

Tabela 12 - Análise de variância no Delineamento de Experimentos.

Fonte de variação	Soma de quadrados	Graus de liberdade	Quadrado Médio	F ₀	F (1;48;0,05)	Resultado
A	5.765	1	5.765	0,03	4,04	não significativo
B	2.443.265	1	2.443.265	12,13	4,04	significativo
AB	135.124	1	135.124	0,67	4,04	não significativo
C	1.305.324	1	1.305.324	6,48	4,04	significativo
AC	140.782	1	140.782	0,70	4,04	não significativo
BC	1.578.302	1	1.578.302	7,84	4,04	significativo
ABC	52	1	52	0,00	4,04	não significativo
Erro	9.667.015	48	201.396			
Total	15.275.629	55				

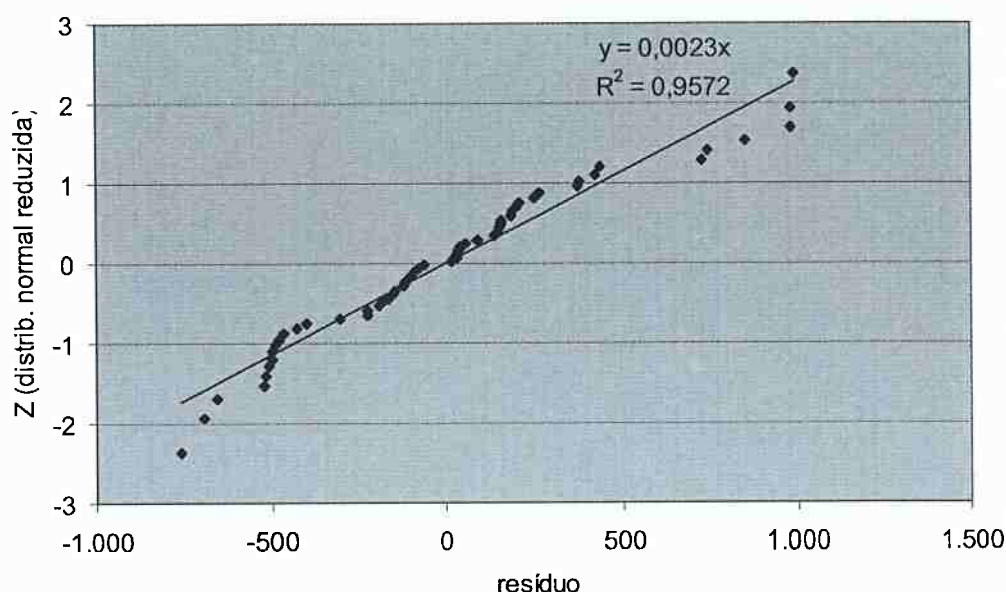
Elaborado pelo autor.

A análise de variância revela que, ao nível de significância $\alpha = 5\%$, podem ser considerados significativos os efeitos B (formato PC) e C (tipo de capa), além da interação entre eles. A partir destes efeitos e interação, construiu-se a seguinte equação de regressão:

$$y = 1.187,14 - 208,88x_1 - 152,67x_2 + 167,88x_1x_2$$

Na fórmula anterior, y é o valor esperado da variável resposta (velocidade média), x_1 o valor assumido pelo fator B (-1 para fator no nível baixo e +1 para fator no nível alto) e x_2 o valor do fator C.

Finalmente, a Figura 40 apresenta o resultado da análise de resíduos do modelo obtido. Os resíduos são a diferença entre o valor observado e o valor esperado da variável de resposta para cada um dos $n2^k$ valores experimentais.



Elaborado pelo autor.

Figura 40 - Análise de resíduos do modelo de regressão.

A análise do gráfico da Figura 40 mostra que os resíduos se distribuem segundo uma distribuição normal de probabilidade, o que sugere que não existam evidências de anormalidades com o modelo de regressão, que pode ser considerado válido. Deve-se notar porém que, apesar de seguirem uma distribuição normal de probabilidade, os valores dos resíduos são bastante elevados, indicando que uma grande parcela da variação na variável resposta não é explicada pelo modelo.

Uma vez validado, o modelo é utilizado para explicar parte da variação na velocidade de operação, que é bastante elevada, conforme análise da seção 3.5.2. Para isso, foram construídos quatro grupos de Gráficos de Controle, um para cada

combinação de níveis dos fatores significativos. A Tabela 13 faz a relação entre estes Gráficos de Controle e o valor dos fatores em cada um.

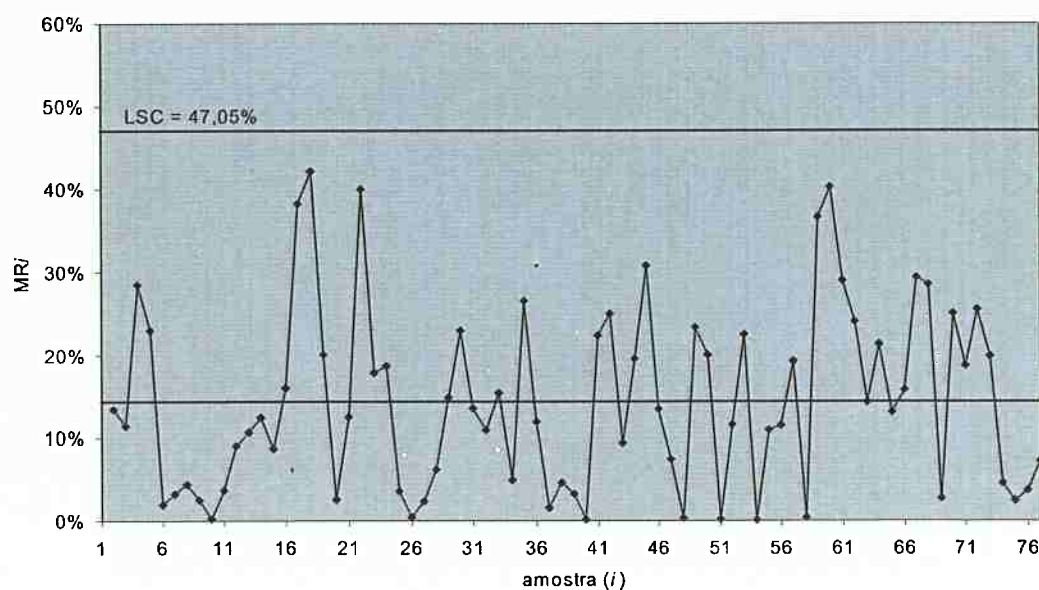
As figuras 41 a 48 apresentam os Gráficos de Controle para a amplitude móvel e para os valores individuais de IE para cada um dos grupos definidos na Tabela 13.

Tabela 13 – Estratificação dos produtos.

		Formato PC (mm)	
		≤ 224	> 224
Tipo da capa	Dura	I	II
	Flexível	III	IV

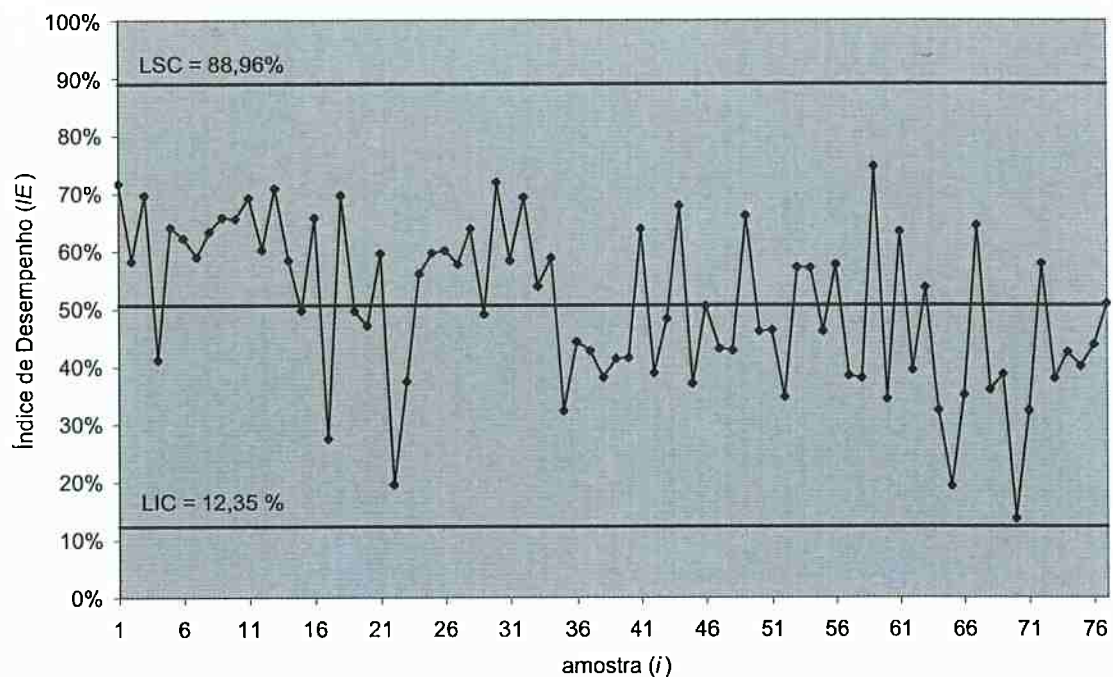
Elaborado pelo autor.

Os Gráficos de Controle representados nas Figuras 41 a 48 mostram que a amplitude móvel e os valores individuais do índice de desempenho estão sob controle estatístico. O problema das seqüências detectado anteriormente (3.5.2) foi reduzido, existindo apenas uma seqüência de dez valores acima da LC no GC para valores individuais do Grupo I, entre as amostras 5 e 14.



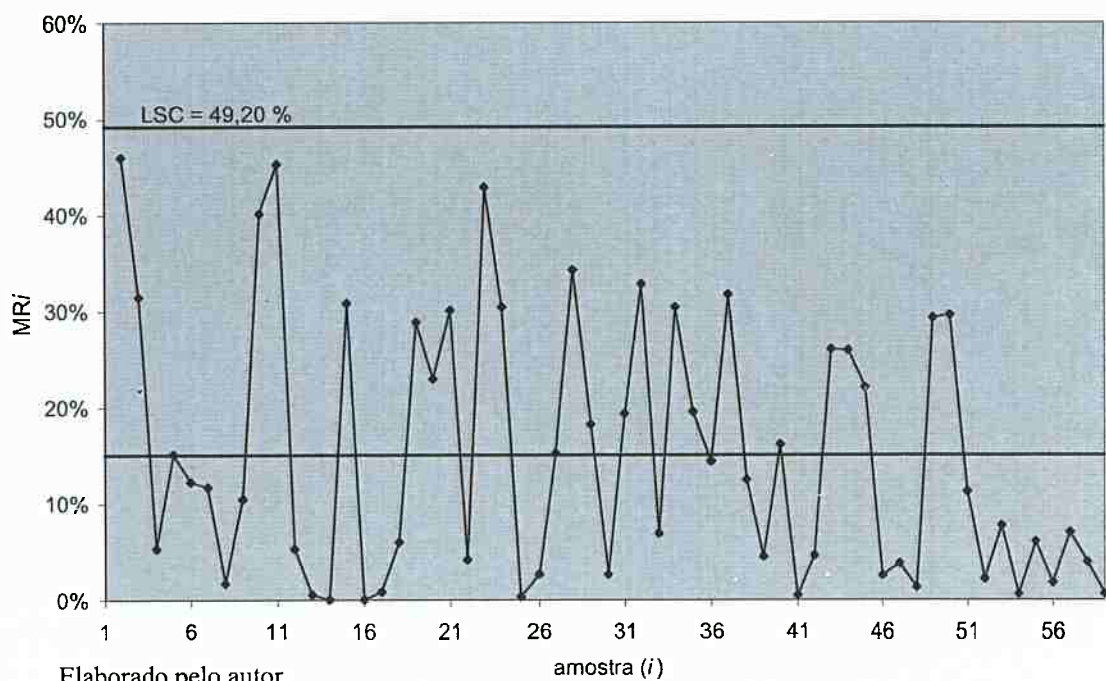
Elaborado pelo autor.

Figura 41 - GC para a amplitude móvel – Grupo I.



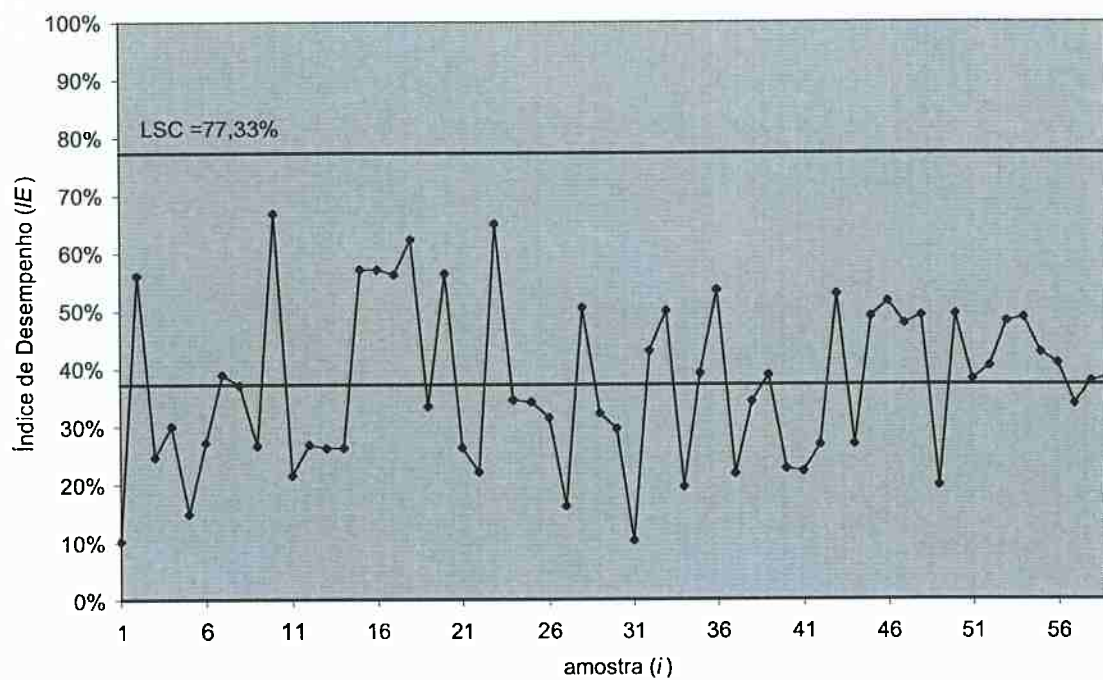
Elaborado pelo autor.

Figura 42 - GC para os valores individuais – Grupo I.



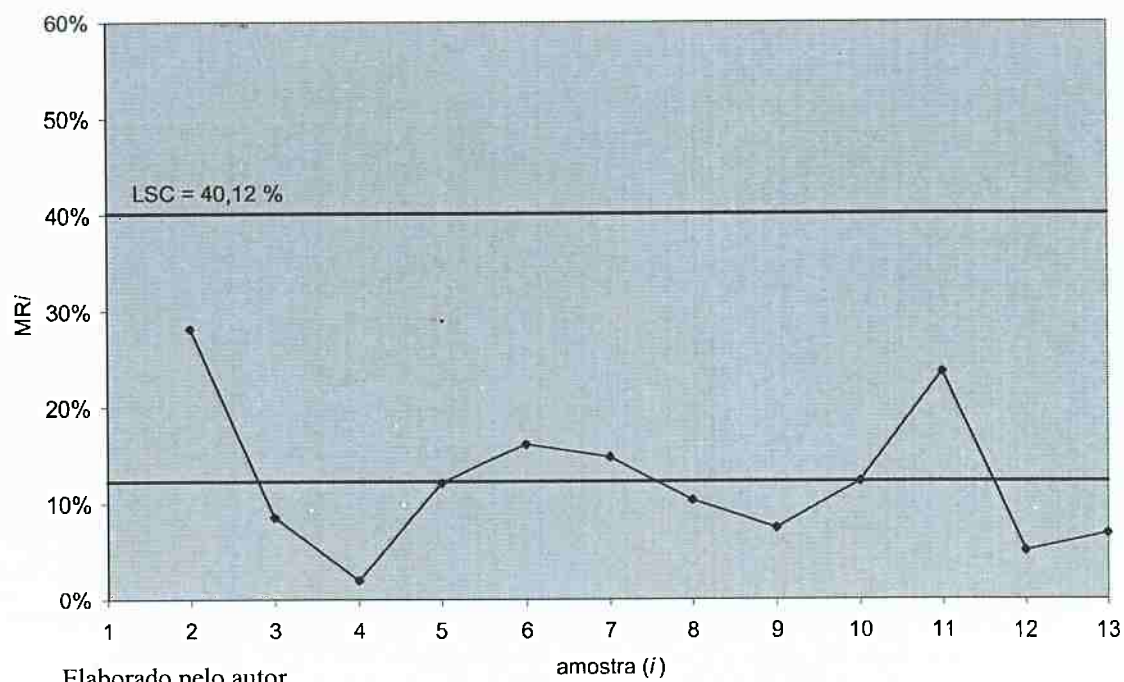
Elaborado pelo autor.

Figura 43 - GC para a amplitude móvel – Grupo II.



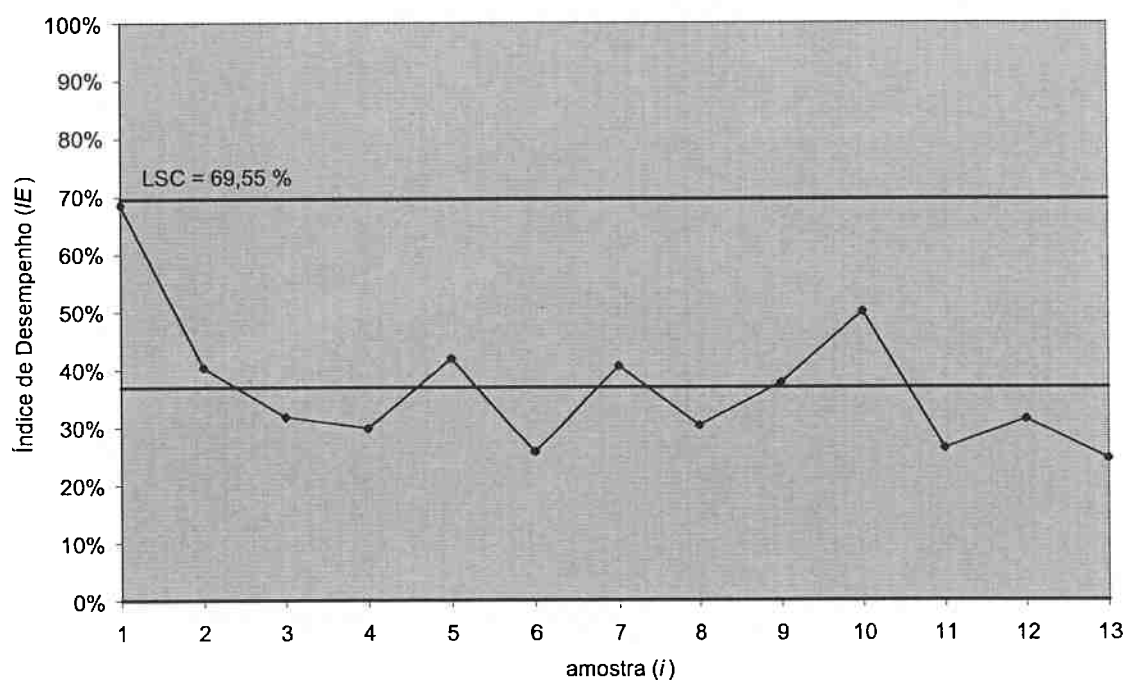
Elaborado pelo autor.

Figura 44 - GC para os valores individuais – Grupo II.



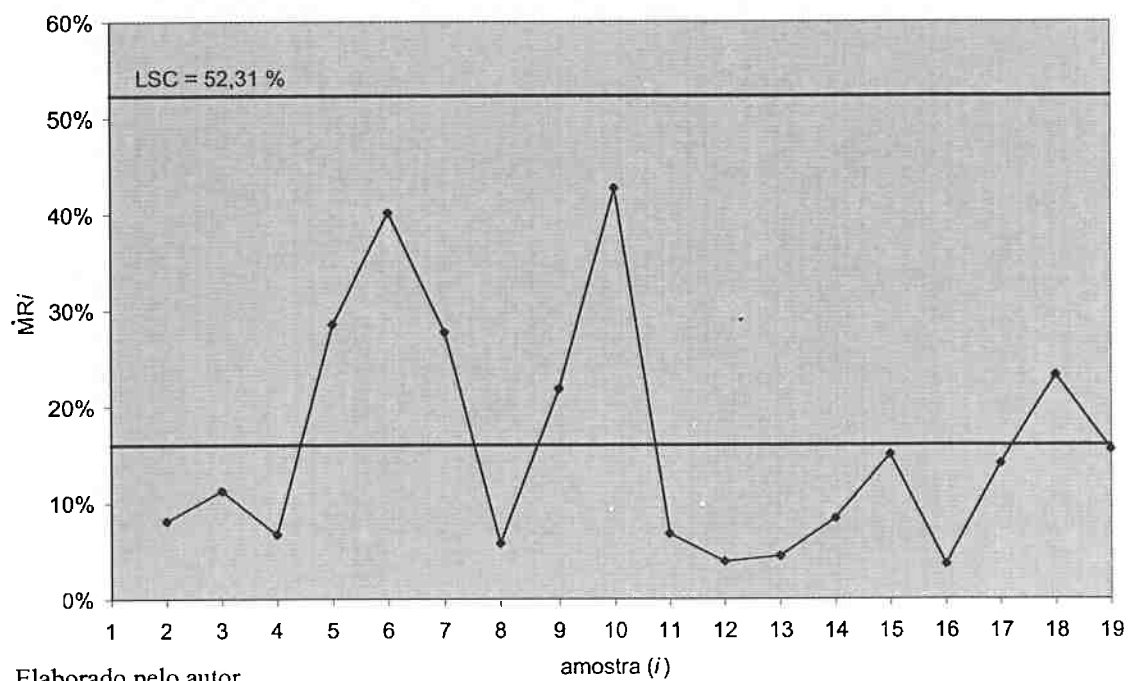
Elaborado pelo autor.

Figura 45 - GC para a amplitude móvel – Grupo III.



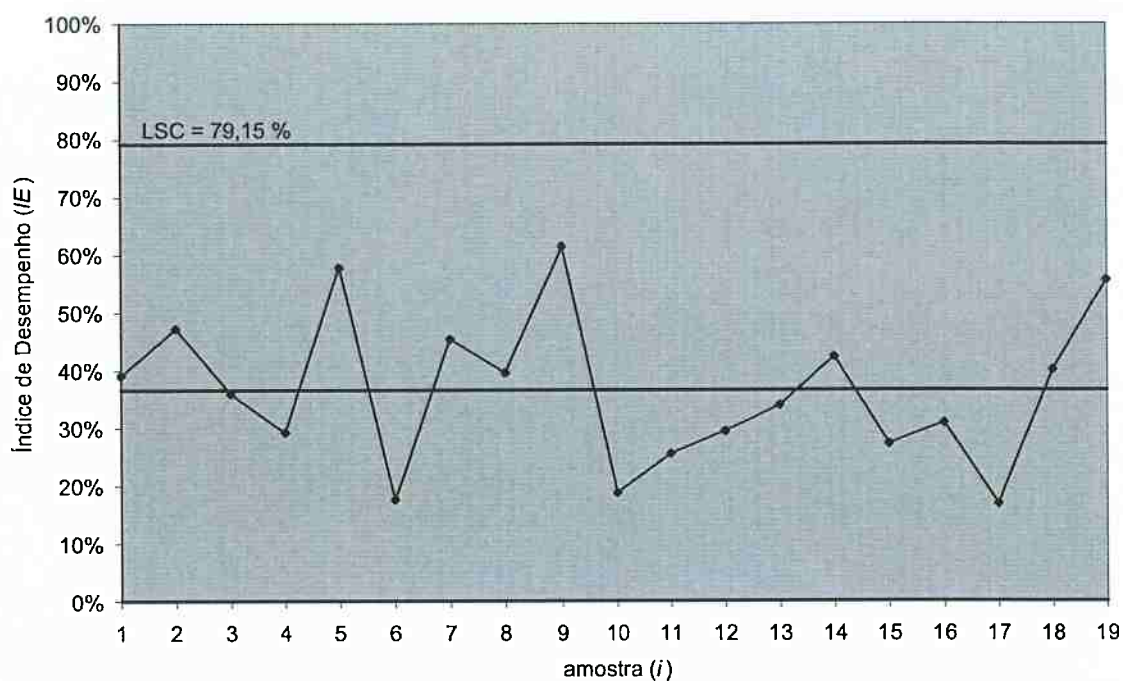
Elaborado pelo autor.

Figura 46 - GC para os valores individuais – Grupo III.



Elaborado pelo autor.

Figura 47 - GC para a amplitude móvel – Grupo IV.



Elaborado pelo autor.

Figura 48 - GC para os valores individuais – Grupo IV.

Um resumo dos valores de LC, LIC e LSC para os Gráficos de Controle anteriores é apresentado na Tabela 14 .

Tabela 14 - Resumo dos parâmetros dos Gráficos de Controle.

Grupo de OP	Gráfico de Controle MR			Gráfico de Controle x		
	LIC	LC	LSC	LIC	LC	LSC
Grupo I	0,0%	14,4%	47,1%	12,4%	50,7%	89,0%
Grupo II	0,0%	15,1%	49,2%	0,0%	37,3%	77,3%
Grupo III	0,0%	12,3%	40,1%	0,0%	36,9%	69,5%
Grupo IV	0,0%	16,0%	52,3%	0,0%	36,6%	79,2%
Todas	0,0%	15,4%	50,2%	2,2%	43,0%	83,9%

Elaborado pelo autor.

Estes dados mostram a existência de significativas diferenças de variabilidade e de valor médio entre os diferentes grupos, o que justifica a estratificação realizada.

3.7 Análise da capacidade do processo

Após o levantamento preliminar de dados e a verificação da estabilidade das variáveis e atributos do processo, com a identificação e eliminação de causas assinaláveis quando de variável e/ou atributo fora de controle, esta seção apresenta a análise da capacidade do processo, isto é, a capacidade da linha de encadernação produzir dentro dos limites de especificação.

Esta análise da capacidade do processo é feita para as variáveis contínuas ‘tempo de ajuste / acerto’ e ‘velocidade de operação’ e para o atributo ‘perdas durante a produção’.

3.7.1 Tempo de ajuste / acerto

Conforme verificado na seção 3.4.2, a variável contínua ‘tempo de ajuste / acerto’ não obedece à distribuição normal de probabilidade. Portanto, não é possível utilizar as técnicas convencionais para a análise da capacidade do processo, já que isto conduziria a uma estimativa errada da expectativa de valores fora dos limites de especificação.

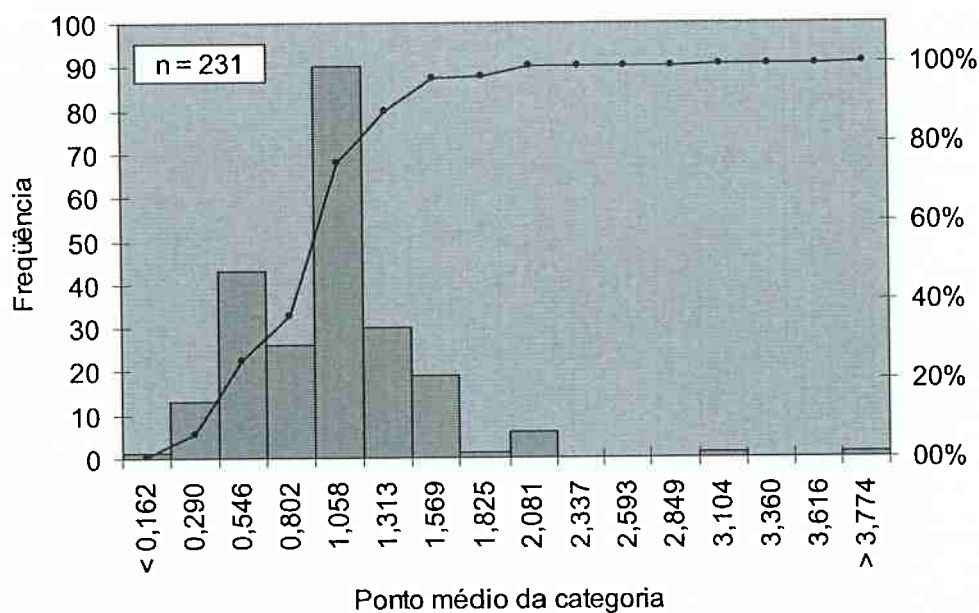
Por este motivo, foi usada a transformação inversa da variável, conforme proposto por Montgomery (2001). Esta transformação é feita conforme as eqs. (44) a (46):

$$x_i^* = \frac{1}{x_i} \quad (44)$$

$$LSC^* = \frac{1}{LSC} \quad (45)$$

$$LIC^* = \frac{1}{LIC} \quad (46)$$

Nestas equações, x_i são os valores observados para a variável ‘tempo de ajuste / acerto’. A Figura 49 apresenta o histograma da variável x^* . Conforme pode ser observado, após a transformação a forma do histograma obtido é bastante semelhante à da distribuição normal de probabilidade.



Elaborado pelo autor.

Figura 49 - Histograma da variável x^* , obtida pela transformação inversa da variável 'tempo de ajuste / acerto'.

Para esta variável, existe apenas o Limite Superior de Especificação (LSE). Na gráfica, o valor adotado para o LSE é de 1,2 horas. Este valor foi obtido através de consulta ao departamento de vendas, que é o responsável pela estimativa do tempo total de produção durante a elaboração do orçamento. O valor orçado serve de base para a posterior programação da produção.

Calculando-se o índice C_{Pu} para a variável x^* conforme eq. (25), e estimando-se a média e o desvio padrão populacional pela média e desvio padrão amostrais, foram obtidos os valores apresentados a seguir:

Média amostral	0,982
Desvio padrão amostral	0,430
LSE	1,200
C_{Pu}	0,115

O valor obtido para C_{Pu} , muito menor do que 1 (um) e também muito menor do que 1,25 (valor mínimo de C_{Pu} , conforme Tabela 1), indica que o processo não é capaz de atender às especificações de tempo de acerto definidas pelo departamento de vendas. Portanto, ações devem ser tomadas tanto no sentido de reduzir o valor do tempo de acerto quanto na revisão das especificações adotadas para esta variável.

À partir do valor calculado de C_{Pu} , a estimativa do percentual de acertos cuja duração exceda ao LSE é de 36,50%. Este valor é muito elevado, reforçando a necessidade da tomada de ações no sentido de aumentar a capacidade do processo de encadernação de livros.

3.7.2 Velocidade de operação

A variável contínua ‘velocidade de operação’ adere satisfatoriamente à distribuição normal de probabilidade (3.5.2). Para esta variável, são adotados na empresa os valores de LIE definidos na Tabela 15. Os grupos de produtos são aqueles definidos na Tabela 13.

Tabela 15 – Limites de especificação para a velocidade de operação.

Grupo de produtos	LSE (livros / hora)
I	1.600
II	1.600
III	1.300
IV	1.300

Fonte: departamento de vendas.

O resumo dos resultados obtidos para o índice de capacidade para cada grupo de produtos encontra-se na Tabela 16. Os valores para a média e o desvio padrão amostral foram estimados através dos Gráficos de Controle das Figuras 41 a 48 e pelo emprego da eq. (9). A conversão da variável contínua IE , usada nos Gráficos de Controle, para a variável contínua ‘velocidade de operação’, usada neste estudo de capacidade, é feita através da eq. (43).

Tabela 16 - Velocidade de operação: índice de capacidade em função do grupo de produtos.

	Grupo de produtos			
	I	II	III	IV
Média amostral	1.519,60	1.118,28	1.106,59	1.096,93
Desvio padrão amostral	383,03	400,52	326,60	425,87
<i>LIE</i>	1.600	1.600	1.300	1.300
C_{PI}	-0,070	-0,401	-0,504	-0,394
Valor esperado para o percentual de observações abaixo do <i>LIE</i>	52,79%	65,58%	69,27	65,31

Elaborado pelo autor.

Os valores de índice de capacidade apresentados na Tabela 16 indicam que o processo é incapaz de produzir dentro dos limites de especificação para velocidade de operação definidos pela empresa. Os valores negativos encontrados para C_{PI} refletem o fato das médias amostrais de velocidade de operação para cada grupo estarem abaixo dos respectivos *LIE*.

Assim como no caso do tempo de ajuste / acerto, para a velocidade de operação ações devem ser tomadas para aumentar a velocidade de operação da linha de encadernação de livros e/ou revisar os limites de especificação adotados.

3.7.3 Perdas durante a produção

Os valores de perdas durante a produção, ou fração defeituosa, são atributos, portanto não é possível o cálculo direto dos índices de capacidade. Por este motivo, usaremos a metodologia proposta por Rotondaro (2002) e descrita na seção 2.4.1 deste trabalho.

Através do uso das eqs. (27) a (30), e conhecendo-se o valor máximo de perdas adotado pela empresa (7,5%), fez-se o cálculo de C_{Pu} , conforme resumo da Tabela 17. Estes cálculos foram realizados à partir dos dados coletados e apresentados na seção 3.4.6. A média e o desvio padrão populacionais foram estimados à partir da média e do desvio padrão amostrais (3.5.4).

Os limites de especificação variam em função da quantidade a ser produzida, impressora utilizada, número de cores e gramatura do papel. O valor adotado (7,5%) representa uma média destas especificações, ponderadas pela frequência de ocorrência de cada uma, conforme análise realizada pelo autor dos dados históricos referentes ao primeiro semestre de 2003.

Tabela 17 - Perdas durante a produção: índice de capacidade.

Média amostral	0,0213
Desvio padrão amostral	0,0108
LSE	0,0750
Z_s	4,972
C_{Pu}	1,657
Número esperado de observações acima do LSE (em partes por milhão –ppm)	0,332 ppm

Elaborado pelo autor.

O valor encontrado para $C_{Pu} = 1,657 > 1,25$ indica que o processo de encadernação de livros é capaz de produzir dentro dos limites de especificação para perdas durante a produção especificados pela empresa. Este resultado é compatível com o comportamento observado do processo, pois não ocorrem quebras de tiragem (impossibilidade de encadernar a quantidade encomendada pelo cliente devido a excesso de material danificado durante o processo) causadas por problemas de qualidade da linha de encadernação de livros.

Porém, dois fatores devem ser levados em consideração:

- Apesar de dentro dos limites de especificação da empresa, a fração defeituosa observada é muito alta (2,13%). O processo somente é capaz porque os limites de especificação são exageradamente elevados. Assim, ganhos de qualidade no processo têm potencial para aumentar a produtividade da linha de produção.
- Devem ser consideradas as perdas nos processos anteriores e posteriores à encadernação de livros. Este estudo analisou apenas a

atividade de encadernação de livros, que está inserida no processo de acabamento. Às perdas na linha de encadernação devem ser somadas as perdas nas demais atividades deste processo.

Às perdas durante a produção devem ser acrescidas as perdas durante o acerto (ver seções 3.4.5 e 3.5.3). Estas variam entre 0,7% e 0,04%, conforme a tiragem. Adotando-se o maior destes valores, o valor do índice de capacidade cai para 1,420, não alterando a conclusão anterior de que o processo é capaz de atender às especificações quanto às perdas durante a produção.

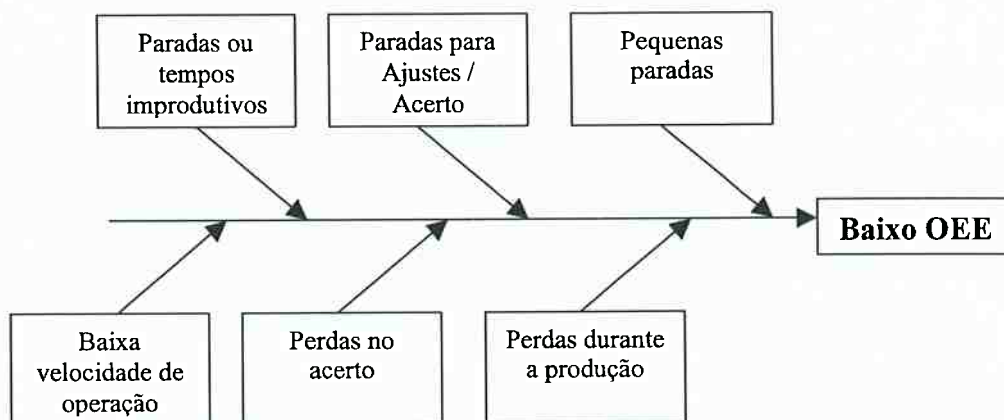
3.8 Busca de causas comuns de variação

Nesta seção é feita a busca por causas comuns de variação no processo. Por causas comuns de variação entendem-se aquelas inerentes ao processo produtivo em sua situação atual. São aceitas como inevitáveis e por isso recebem pouca atenção, porém possuem grande potencial de aumento da produtividade, caso sejam eliminadas.

Para a identificação das causas comuns de variação foram utilizados diagramas de causa e efeito (ver seção 2.2.4), Gráficos de Pareto e outras ferramentas descritas na seção 2.2. Esta análise é uma preparação para o preenchimento da planilha do PFMEA, apresentado na próxima seção.

Para o preenchimento dos diagramas de causa e efeito, o autor utilizou sua própria experiência e observação do processo, além de conversas com os operadores, supervisores, encarregados, engenheiros e gerentes envolvidos na produção.

A análise das causas comuns de variação foi feita para cada uma das seis grandes perdas apontadas na seção 3.4 e representadas no diagrama de causa e efeito da Figura 50.

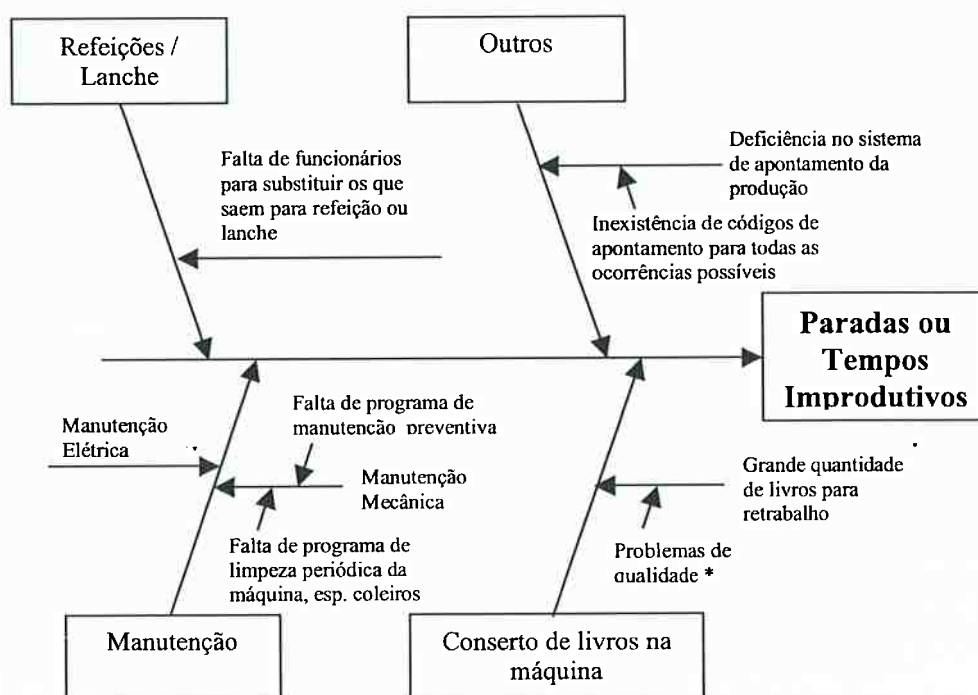


Elaborado pelo autor.

Figura 50 - Diagrama de causa e efeito com as Seis Grandes Perdas que afetam o OEE.

3.8.1 Paradas ou tempos improdutivos

À partir dos tempos improdutivos mostrados no histograma da Figura 25 (seção 3.4.1) foi elaborado o diagrama de causa e efeito representado na Figura 51.



* Esta causa é melhor detalhada na análise das perdas durante a produção

Elaborado pelo autor.

Figura 51 - Diagrama de causa e efeito para as paradas ou tempos improdutivos.

As causas apontadas no diagrama da Figura 51 cobrem 92% das paradas da máquina, conforme histograma da Figura 25.

Coleiros é como são chamados os depósitos de cola na linha de produção. Nestes depósitos a cola é armazenada, aquecida (quando se trata de cola a quente) e distribuída para a aplicação. Nos casos de cola a quente, os coleiros devem permanecer aquecidos durante o tempo em que a máquina está parada, para evitar que a cola seque. A falta de limpeza periódica ou de aquecimento adequado faz com que a cola seque nos coleiros, causando o seu entupimento.

Ocorre também que, devido à falta de limpeza, a cola pode passar para as engrenagens da máquina, causando a sua parada.

3.8.2 Ajustes / Acerto

O ajuste da linha de encadernação de livros ocorre a toda troca de ordem de produção. Consiste em regulagens nas diversas máquinas que compõem a linha e na troca de algumas peças, com o objetivo de adequá-las às dimensões e características do livro que será encadernado.

O ajuste é feito por três operadores trabalhando simultaneamente, um na máquina 1 (M1), outro na máquina 2 (M2) e outro nas máquinas 3, 4 e 5 (M3, M4 e M5), conforme Figura 20. No diagrama da Figura 52 estes operadores são designados por operador A, B e C, respectivamente. O operador C, mais experiente, comanda o processo de ajuste das máquinas.

Este diagrama mostra que os principais problemas estão na espera por informações e materiais para processar. A linha de produção já passou por um programa de 5S, por isso tem caixa de ferramentas e de peças junto às máquinas, o que facilita o acerto. Existe também instrução de trabalho descrevendo todas as etapas do processo de ajuste das máquinas.

A análise do diagrama da Figura 52 revela que há potencial de redução do tempo de acerto, caso as atividades de ajuste externo (aquelas que podem ser

executadas com a máquina em funcionamento) sejam realizadas no final da ordem de produção anterior. A redução no tempo de acerto obtido com esta medida seria de aproximadamente 10 minutos.

No.	Elemento	Executor	Máquina	Tempo (min.) por elemento		Régua de tempo												Problema	Ação de melhoria
				E	I	30 min. 1 h													
1	Buscar ordem de produção e amostra do livro (miolo e capa)	Op. C		5														Ordem de produção não disponível	Consultar programação e solicitar ao encarregado a OP antes do início do acerto
2	Receber páletes com miolos e capas para processar	Op. C		5														Atraso no recebimento de produtos para processar	Verificar, antes do início do acerto, se todos os produtos necessários estão disponíveis
3	Buscar no almoxarifado materiais necessários (papel kraft, papel crepe, fita de cabeceado)	Ajudante		10														Materiais necessários não disponíveis no almoxarifado	Verificar, antes do início do acerto, se todos os materiais necessários estão disponíveis
4	Buscar no almoxarifado facas para a máquina M2, se necessário	Op. B		10														Não há plano para afiação / troca periódica das facas	Elaboração de plano para a afiação / troca periódica das facas
5	Ajustes na máquina M1	Op. A	M1		40														
6	Colocação da proteção nas facas da máquina M2	Op. B	M2		5														
7	Ajustes na máquina M2	Op. B	M2		30														
8	Entrada, no sistema informatizado da linha de produção, das dimensões do livro	Op. C	M3, M4 e M5		5														
9	Troca das peças necessárias nas máquinas M3, M4 e M5	Op. C	M3, M4 e M5		20														
10	Troca das bobinas de papel kraft e de fita de cabeceado, se necessário	Op. C	M3		5														
11	Ajustes nas máquinas M3, M4 e M5	Op. C	M3, M4 e M5		15														
12	Preenchimento de <i>check-list</i> para a aprovação do acerto e autorização do início da produção	Op. A, B e C	M1, M2, M3, M4 e M5		5														

Elaborado pelo autor a partir de modelo adaptado de Miyake, Francischini.

Figura 52 - Análise do acerto da linha de encadernação de livros.

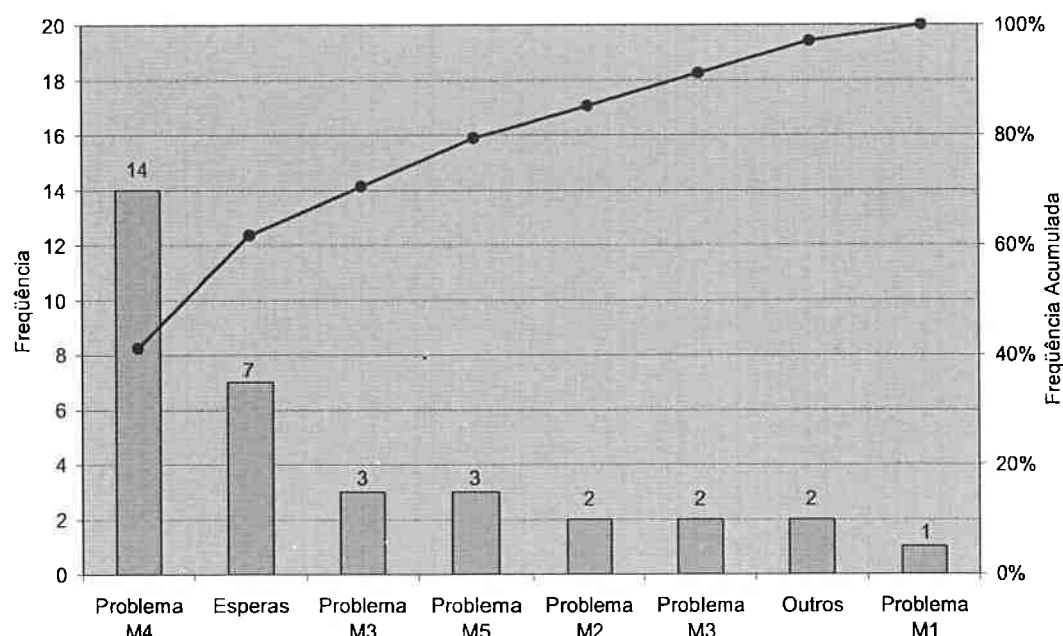
Já as etapas do ajuste interno (aquelas que devem ser feitas com a máquina parada) não apresentam possibilidade de serem convertidas em atividades de ajuste externo, pois envolvem ajustes e trocas de peças, que só podem ser realizadas com a máquina parada.

O passo final na redução do tempo de acerto é a redução do tempo gasto nas atividades de ajuste interno e externo. Porém, estas medidas exigem grandes esforços para a otimização dos procedimentos, por isso só devem ser praticadas após a implementação das ações de melhoria descritas na Figura 52, pois estas são de fácil execução e apresentam alto potencial de ganho.

3.8.3 Pequenas paradas

Foi realizada uma coleta de dados, através da técnica de amostragem do trabalho, para a estimativa dos tempos e causas das pequenas paradas na linha de produção. Pequenas paradas são interrupções breves na produção, da ordem de 1 a 3 minutos, que não são registradas no sistema de apontamento. Os dados coletados são apresentados na Tabela 7.

Destes dados, foram excluídas as paradas que são registradas no sistema de apontamento da produção (acerto/troca de serviço, sem serviço, manutenção e refeição/lanche). Foi excluído também o tempo gasto com a produção. Uma análise de Pareto dos dados restantes encontra-se na Figura 53.

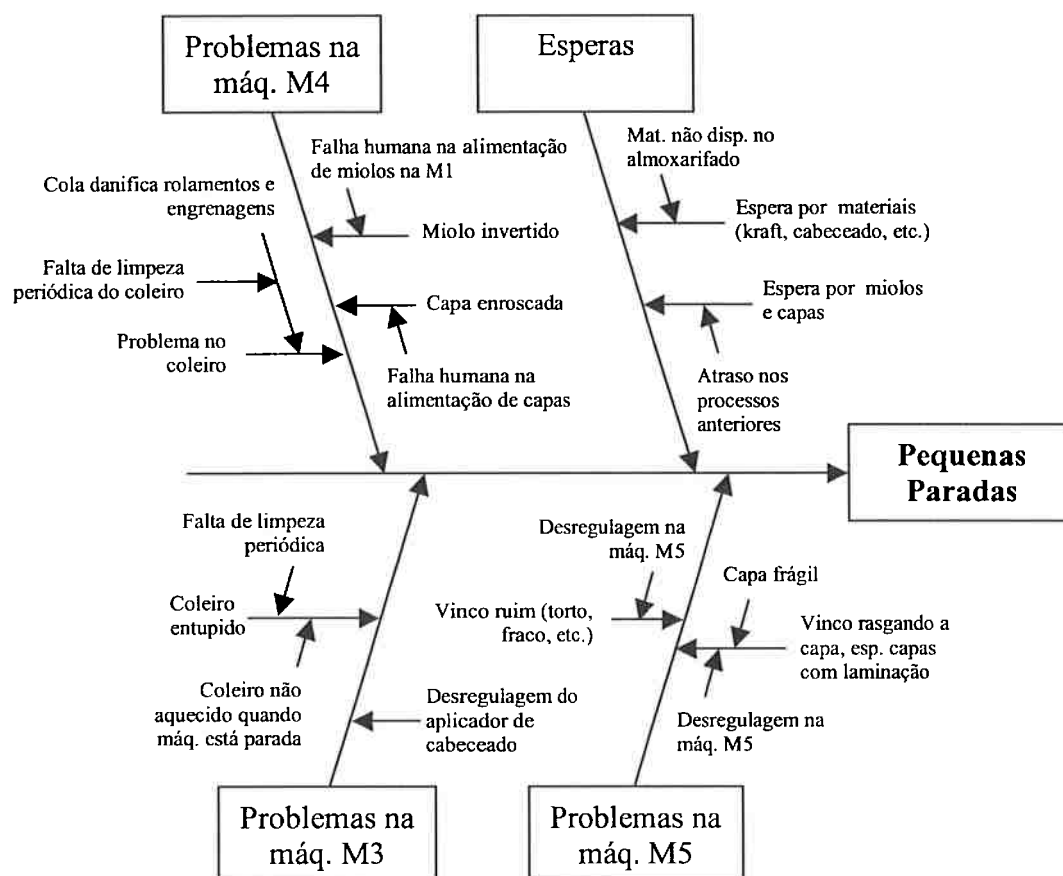


Fonte: dados coletados pelo autor.

Figura 53 - Análise de Pareto das pequenas paradas.

Estes dados permitem estimar que as pequenas paradas consomem 33,0 % do Tempo Bruto de Operação (TBO). Portanto, a sua redução tem um grande potencial par aumentar o OEE da linha de produção.

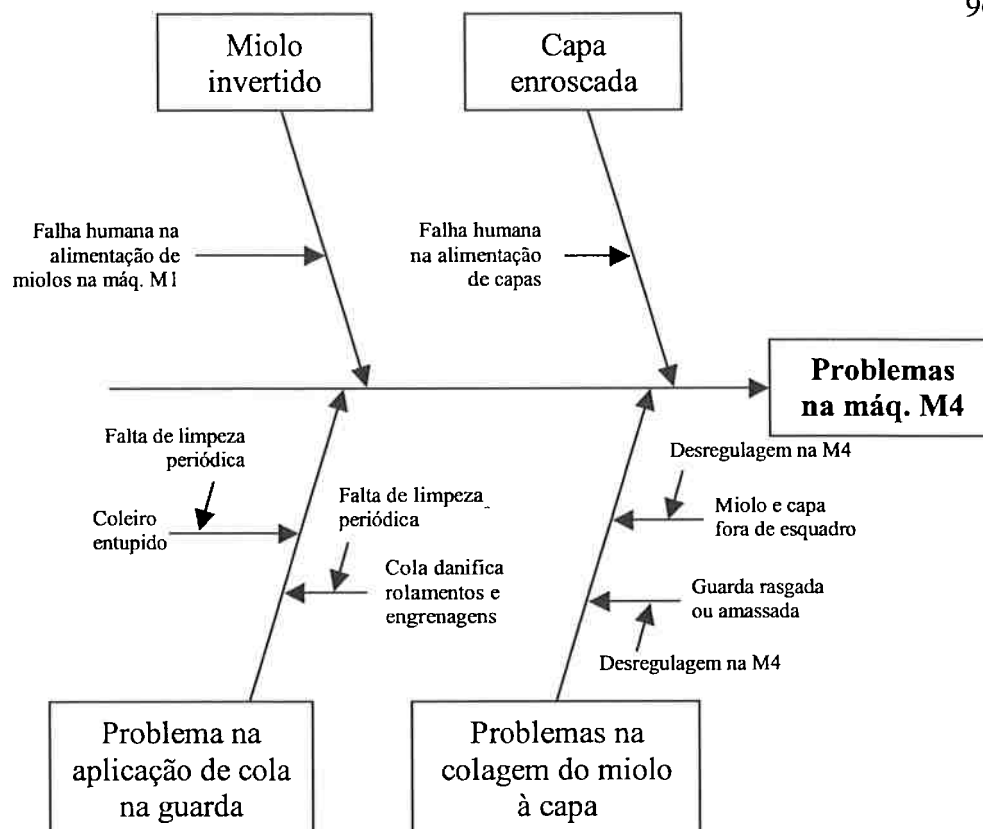
A Figura 54 mostra o diagrama de causa e efeito elaborado para a identificação das causas das paradas mais significativas apontadas na Figura 53.



Elaborado pelo autor.

Figura 54 - Diagrama de causa e efeito para as pequenas paradas.

Devido ao grande número de causas identificadas para os problemas na máquina M4, e também devido à alta frequência destes problemas, foi construído um novo diagrama de causa e efeito apenas para esta máquina. Este diagrama está representado na Figura 55.



Elaborado pelo autor.

Figura 55 - Diagrama de causa e efeito para os problemas na máquina M4.

3.8.4 Baixa velocidade de operação

A velocidade nominal máxima da linha de produção é de 3.000 livros por hora. Porém, durante a operação, a velocidade regulada pelo operador é sensivelmente menor e varia conforme as características do produto a ser encadernado. As características que mais têm impacto sobre a velocidade de operação são tipo de capa, dimensões, gramatura do papel, tipo de lombada e aplicação ou não de cabeceado.

A seção 3.6.1 apresentou uma análise do impacto de alguns destes fatores.

Para verificar qual a velocidade ajustada para a operação, foi realizada uma coleta de dados em campo na qual acompanhou-se a produção de 14 ordens de produção. Para esta coleta de dados foi utilizada a folha de verificação apresentada no Anexo D.

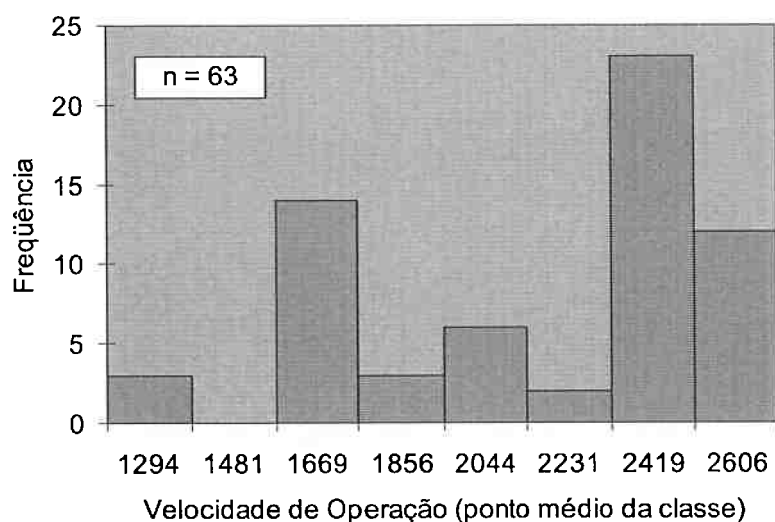
As velocidades ajustadas pelo operador obtidas desta coleta de dados encontram-se na Tabela 18 a seguir.

Tabela 18 - Velocidade ajustada de operação.

Data	Veloc. (livros/hora)	N. pág.	Formato PC (mm)	Capa	Lombada	Cabeceado	Data	Veloc. (livros/hora)	N. pág.	Formato PC (mm)	Capa	Lombada	Cabeceado
25/06/03	2280	800	210	Dura	Quadrada	Sim	27/06/03	2520	352	277	Dura	Redonda	Sim
25/06/03	2280	800	210	Dura	Quadrada	Sim	28/06/03	1620	768	277	Flexível	Redonda	Não
25/06/03	2400	800	210	Dura	Quadrada	Sim	28/06/03	1620	768	277	Flexível	Redonda	Não
25/06/03	2400	800	210	Dura	Quadrada	Sim	28/06/03	1620	768	277	Flexível	Redonda	Não
25/06/03	2400	800	210	Dura	Quadrada	Sim	28/06/03	1620	768	277	Flexível	Redonda	Não
25/06/03	2400	800	210	Dura	Quadrada	Sim	28/06/03	1620	768	277	Flexível	Redonda	Não
25/06/03	2400	800	210	Dura	Quadrada	Sim	28/06/03	1620	768	277	Flexível	Redonda	Não
25/06/03	2400	800	210	Dura	Quadrada	Sim	28/06/03	1620	768	277	Flexível	Redonda	Não
25/06/03	2400	800	210	Dura	Quadrada	Sim	29/06/03	1620	1728	150	Flexível	Redonda	Sim
25/06/03	2400	800	210	Dura	Quadrada	Sim	29/06/03	1620	1728	150	Flexível	Redonda	Sim
26/06/03	1200	2160	276	Dura	Quadrada	Sim	29/06/03	1620	1728	150	Flexível	Redonda	Sim
26/06/03	1320	2160	276	Dura	Quadrada	Sim	29/06/03	1620	1728	150	Flexível	Redonda	Sim
26/06/03	1320	2160	276	Dura	Quadrada	Sim	29/06/03	1620	1728	150	Flexível	Redonda	Sim
26/06/03	1800	304	238	Dura	Redonda	Sim	30/06/03	1680	512	278	Dura	Redonda	Sim
26/06/03	1800	304	238	Dura	Redonda	Sim	30/06/03	2040	512	278	Dura	Redonda	Sim
26/06/03	2100	304	238	Dura	Redonda	Sim	30/06/03	2040	512	278	Dura	Redonda	Sim
26/06/03	2100	304	238	Dura	Redonda	Sim	30/06/03	2040	512	278	Dura	Redonda	Sim
26/06/03	2400	800	210	Dura	Quadrada	Sim	30/06/03	2100	512	278	Dura	Redonda	Sim
26/06/03	2400	800	210	Dura	Quadrada	Sim	03/07/03	1800	228	224	Dura	Redonda	Sim
26/06/03	2400	800	210	Dura	Quadrada	Sim	03/07/03	2400	228	224	Dura	Redonda	Sim
26/06/03	2400	800	210	Dura	Quadrada	Sim	03/07/03	2580	512	197	Dura	Redonda	Sim
26/06/03	2400	800	210	Dura	Quadrada	Sim	03/07/03	2580	512	197	Dura	Redonda	Sim
26/06/03	2400	800	210	Dura	Quadrada	Sim	03/07/03	2700	512	197	Dura	Redonda	Sim
26/06/03	2400	800	210	Dura	Quadrada	Sim	03/07/03	2700	228	224	Dura	Redonda	Sim
26/06/03	2400	800	210	Dura	Quadrada	Sim	03/07/03	2700	228	224	Dura	Redonda	Sim
26/06/03	2400	800	210	Dura	Quadrada	Sim	03/07/03	2700	228	224	Dura	Redonda	Sim
26/06/03	2400	800	210	Dura	Quadrada	Sim	04/07/03	2580	368	224	Dura	Redonda	Sim
26/06/03	2400	304	238	Dura	Redonda	Sim	04/07/03	2580	368	224	Dura	Redonda	Sim
26/06/03	2400	304	238	Dura	Redonda	Sim	04/07/03	2700	368	224	Dura	Redonda	Sim
27/06/03	2400	352	277	Dura	Redonda	Sim	04/07/03	2700	368	224	Dura	Redonda	Sim
27/06/03	2520	352	277	Dura	Redonda	Sim							

Fonte: dados coletados pelo autor.

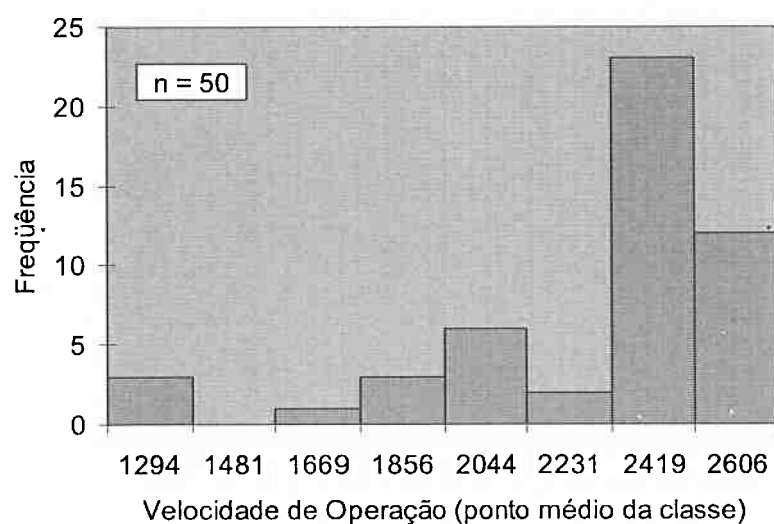
A Figura 56 apresenta um histograma elaborado à partir dos dados coletados sobre velocidade ajustada de operação. Este histograma apresenta pico duplo, revelando que duas populações distintas estão misturadas. Isto comprova os resultados da análise feita na seção 3.6.1, que mostrou que a dimensão do livro e o tipo de capa têm influência significativa sobre a velocidade de operação.



Fonte: dados coletados pelo autor.

Figura 56 - Histograma – velocidade ajustada de operação.

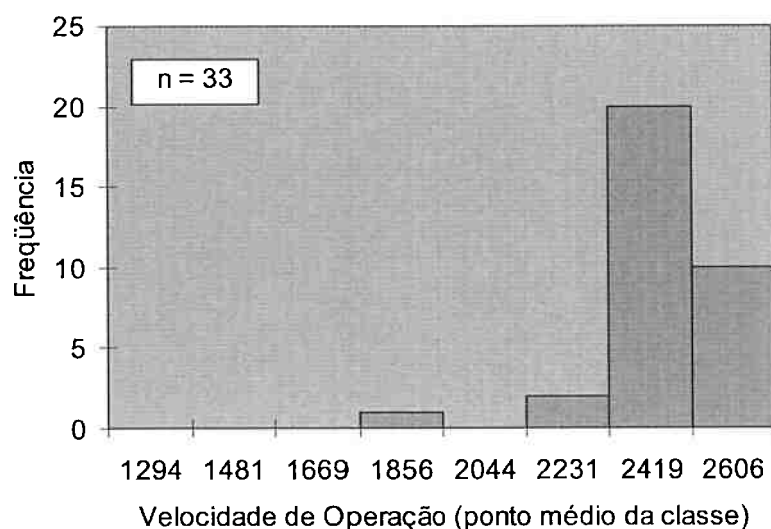
A Figura 57 a seguir apresenta o histograma elaborado apenas com os livros de capa dura. Para os livros de capa flexível, todas as observações apresentaram o mesmo valor, 1.620 livros/hora, sensivelmente inferior às velocidades ajustadas para os livros de capa dura.



Fonte: dados coletados pelo autor.

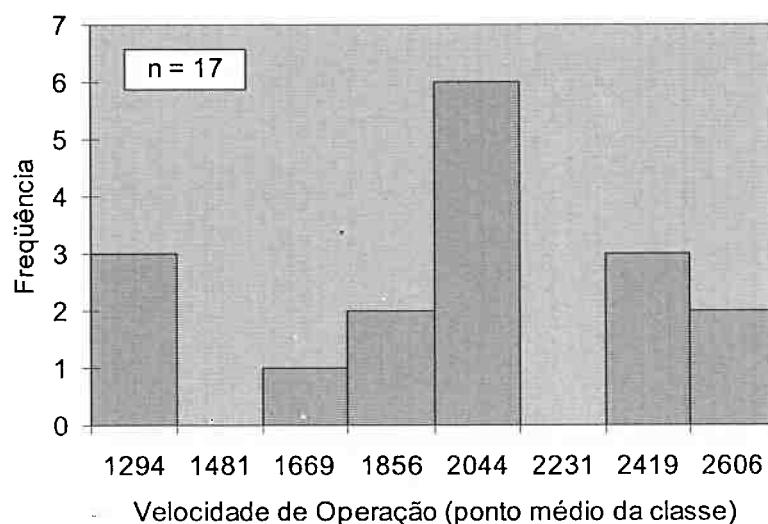
Figura 57 - Histograma – velocidade ajustada de operação – livros capa dura.

Finalmente, foi feita a análise do impacto da dimensão do livro na velocidade de operação. Esta análise encontra-se nos histogramas das Figuras 58 e 59. Estes histogramas revelam que a velocidade regulada para operação é sensivelmente maior para livros pequenos do que para livros maiores, comprovando a análise feita na seção 3.6.1.



Fonte: dados coletados pelo autor.

Figura 58 - Velocidade ajustada de operação – livros com formato pé-cabeça ≤ 224 mm.



Fonte: dados coletados pelo autor.

Figura 59 - Velocidade ajustada de operação – livros com formato pé-cabeça > 224 mm.

Apesar de existirem velocidades padrão para os diferentes tipos de produtos, esta é ajustada pelo operador em função da sua experiência e das condições da produção. Em geral, a velocidade é ajustada em um valor baixo no início da produção e elevada progressivamente caso não sejam registrados problemas.

3.8.5 Perdas no acerto

As perdas durante o acerto da máquina, quando da troca de tipo de produto, representam no máximo 0,7% da produção total, conforme seção 3.7.3. Portanto, o potencial de aumento do OEE através da redução das perdas no acerto é baixo e necessitaria de um profundo estudo das atividades de acerto, que está fora do escopo deste trabalho.

Por estes motivos, o estudo para a identificação de causas comuns de variação que produzam perdas durante o acerto da máquina não é feito neste trabalho.

3.8.6 Perdas durante a produção

Conforme análise da seção 3.5.4, as perdas devidas a problemas com qualidade durante a produção são estimadas em 2,13%. Para a identificação destes tipos de perda, além da sua quantificação, foi feita uma coleta de dados junto à máquina, onde se utilizou a folha de verificação apresentada no Anexo D.

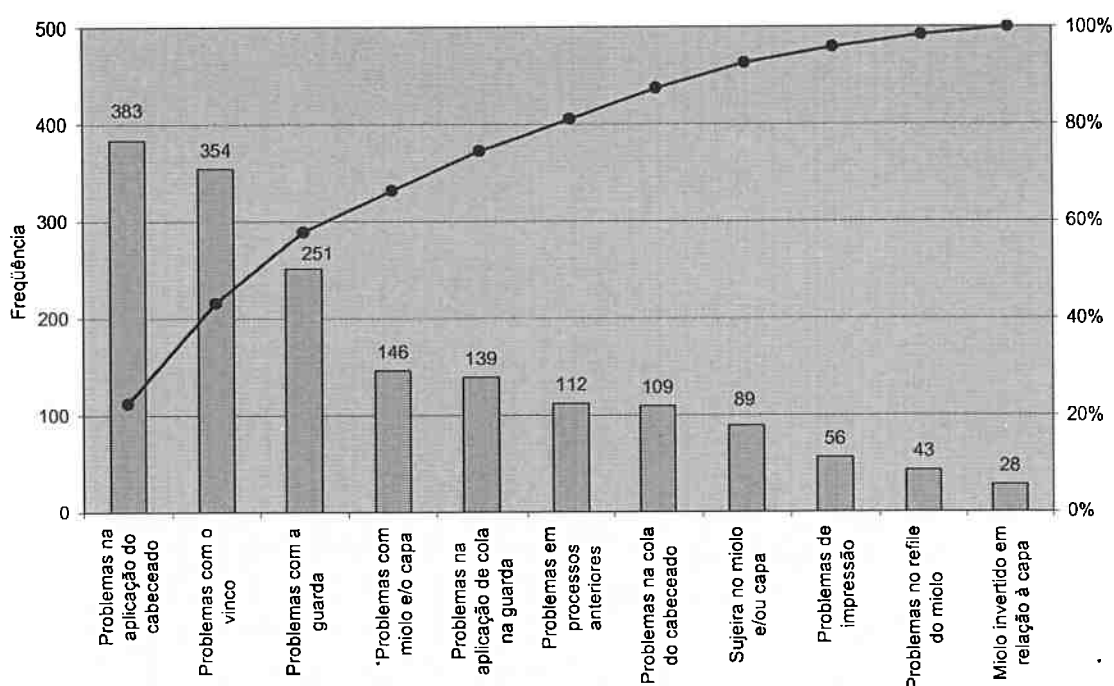
Foi acompanhada a encadernação de 59.853 livros, durante os dias 25/06 e 04/07/2003. Os resultados desta coleta de dados encontram-se na Tabela 19, onde foi feito um agrupamento das não-conformidades listadas na folha de verificação.

Uma análise de Pareto dos dados da Tabela 19 é apresentada na Figura 60.

Tabela 19 - Não conformidades na linha de encadernação de livros

Não-conformidade	Frequência
Problemas na aplicação do cabeceado (deslocado, faltando, com emenda, cortado)	383
Problemas com o vinco (rasgando a capa, torto, fraco)	354
Problemas com a guarda (rasgada, dobrada, fora de esquadro, com orelhas)	251
Problemas com miolo e/o capa (amassado, rasgado, riscada, com rugas)	146
Problemas na aplicação de cola na guarda (falta, excesso)	139
Problemas em processos anteriores	112
Problemas na cola do cabeceado (falta, excesso)	109
Sujeira no miolo e/ou capa (cola, graxa, etc.)	89
Problemas de impressão	56
Problemas no refil do miolo	43
Miolo invertido em relação à capa	28
TOTAL	1.710

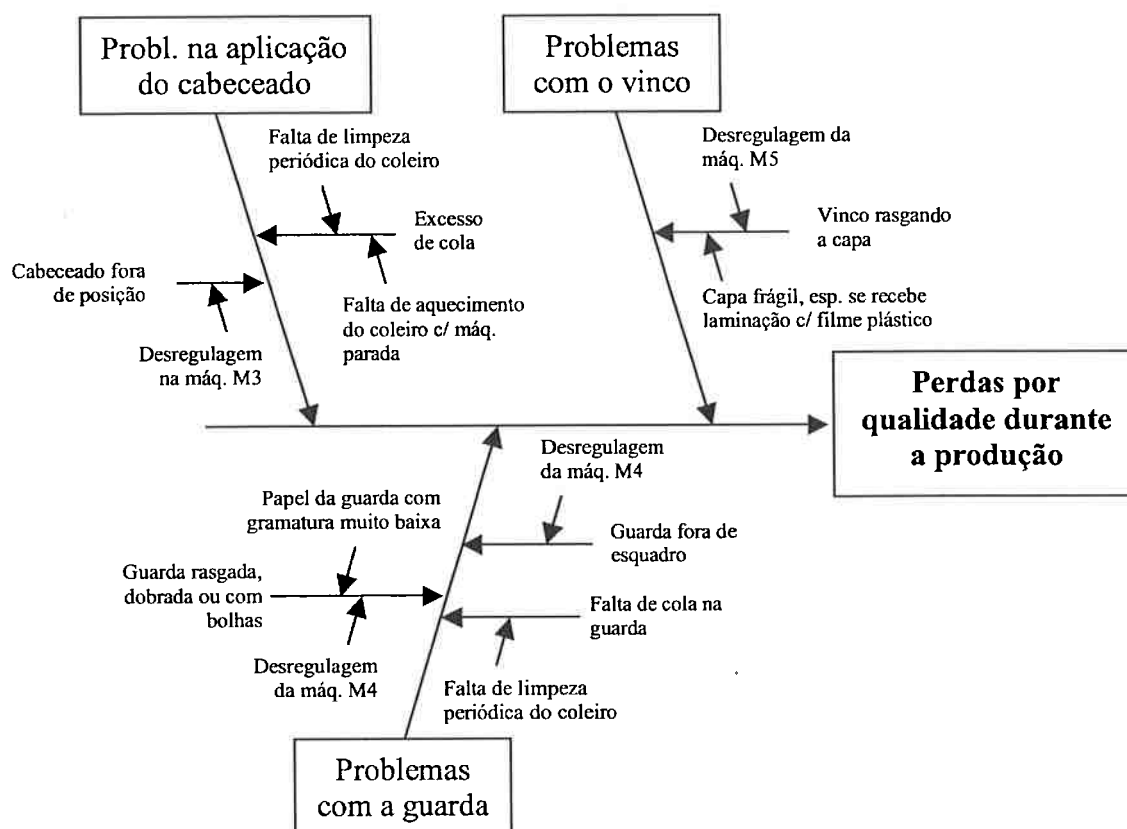
Fonte: dados coletados pelo autor.



Fonte: dados coletados pelo autor

Figura 60 - Análise de Pareto das não conformidades na linha de encadernação de livros.

A análise do gráfico de Pareto mostrado na Figura 60 mostra que três tipos de defeitos são mais significativos: problemas na aplicação do cabeceado, problemas no vinco e problemas na guarda. A Figura 61 mostra o diagrama de causa e efeito construído para a identificação das causas destes defeitos.



Elaborado pelo autor.

Figura 61 - Diagrama de causa e efeito para as perdas por problemas de qualidade durante a produção.

3.9 Planejamento e implementação das ações de melhoria

A partir das causas identificadas para as seis grandes perdas que afetam o OEE, levantadas neste capítulo (com exceção das perdas durante o acerto, devido aos motivos apresentados na seção 3.8.5), e utilizando-se também os dados numéricos apresentados anteriormente, foi preenchido o formulário do PFMEA. O objetivo foi a enumeração das ações de melhoria visando à redução ou eliminação das causas de variação apontadas, com a priorização destas ações.

3.9.1 Análise PFMEA

As ações de melhoria são descritas e classificadas através do uso da ferramenta PFMEA, preenchida usando-se as fontes de variação apontadas na seção 3.8 e os dados numéricos apresentados em todo este trabalho. Foi feita a análise

PFMEA de toda a linha de encadernação de livros, considerando-se em conjunto as seis grandes perdas.

Da mesma forma que na elaboração dos diagramas de causa e efeito, para o preenchimento do formulário do PFMEA foi utilizada a experiência e as observações do processo feitas pelo autor, assim como conversas com os funcionários envolvidos (operadores, engenheiros e gerentes).

O formulário preenchido do PFMEA, já classificado em ordem decrescente de NPR, encontra-se na Figura 62. O índice de severidade (SEV) para cada modo de falha foi estimado através do seu impacto sobre o OEE.

O formulário da Figura 62 reflete a situação vigente em 06/10/2003, data de conclusão deste trabalho de formatura.

#	Função	Modo de falha potencial (problemas no processo)	Efeito da falha potencial	SEV	Causa da falha potencial	OCCOR	Controle preventivo existente no processo	Controle detectivo existente no processo	DT	Nº	Ação recomendada	Responsável pela ação recomendada	Data para conclusão	Situação
1	Encadernação de livros	Parada para refeição/lanche	Redução do índice de disponibilidade e (ID)	7	Falta de funcionários para substituir os que saem para refeição ou lanche	8		Análise posterior do OEE da máquina (feita no final do mês)	9	504	Elaboração de escala de revezamento para refeição/lanche, convocando operários de máquinas paradas	Encarregado	18/8/2003	Concluído
2	Encadernação de livros	Paradas não discriminadas no sistema de apontamento	Redução do índice de disponibilidade e (ID)	7	Falta de códigos específicos para apontamento de todas as ocorrências da produção	7			10	490	Criação de novos códigos de apontamento para atender às necessidades da produção	Encarregado	10/8/2003	Em andamento (aguardando aprovação) Atrasado
3	Encadernação de livros	Baixa velocidade de operação	Redução do índice de eficiência (IE)	8	Operador desconhece as velocidades padrão de operação para cada tipo de produto	8	Velocidades padrão, definidas pelo departamento de vendas		5	320	Revisão das velocidades padrão e sua comunicação aos operadores	Engenheiro de processos	31/10/2003	Não iniciado
4	Encadernação de livros	Parada para manutenção mecânica corretiva	Redução do índice de disponibilidade e (ID)	7	Falta de programa de manutenção preventiva	5		Análise posterior do OEE da máquina (feita no final do mês)	9	315	Elaboração de programa de manutenção preventiva	Manutenção	15/5/2004	Não iniciado
5	Acerto das máquinas	Atraso no acerto	Redução do índice de disponibilidade e (ID)	7	Atraso em processo(s) anterior(es)	5	Programação da produção, entregue diariamente ao encarregado		6	210	Verificação da disponibilidade de capas e miolos antes do início do acerto de cada OP	Encarregado	18/8/2003	Concluído
6	Acerto das máquinas	Atraso no acerto	Redução do índice de disponibilidade e (ID)	7	Materiais necessários (kraft, fita cabeceado e papel crepe) não disponíveis no almoxarifado	3			10	210	Verificação da disponibilidade dos materiais necessários junto ao almoxarifado antes do início do acerto	Encarregado	18/8/2003	Concluído
7	Aplicação de cabeceado ao miolo	Problemas na aplicação de cola ao cabeceado (falta ou excesso)	Redução do índice de eficiência (IE)	8	Coleiro não permanece aquecido quando máquina para	5		Inspeção visual	5	200	Elaboração de instrução de trabalho com procedimentos para a parada da máquina	Engenheiro de processos	15/11/2003	Não iniciado

#	Função	Modo de falha potencial (problemas no processo)	Efeito da falha potencial	SEV	Causa da falha potencial	OCOR	Controle preventivo existente no processo	Controle detectivo existente no processo	DT	Nº	Ação recomendada	Responsável pela ação recomendada	Data para conclusão	Situação
8	Aplicação da capa ao miolo	Coleiro entupido	Redução do índice de eficiência (IE)	8	Falta de limpeza periódica do coleiro	6		Monitorização do processo pelo operador	3	144	Elaboração de plano de manutenção autônoma (TPM) para limpeza periódica dos coleiros	Manutenção	15/5/2004	Não iniciado
9	Aplicação de capa ao miolo	Guarda rasgada, dobrada ou com bolhas	Redução do índice de qualidade (IQ)	3	Papel da guarda com gramatura muito baixa	6	Especificações para organização de produtos		8	144	Revisão das especificações usadas no orçamento	Analista de controle de qualidade	20/9/2003	Concluído
10	Encadernação de livros	Parada para manutenção mecânica corretiva	Redução do índice de disponibilidade e (ID)	7	Falta de limpeza periódica na máquina, esp. nos coleiros	6		Monitorização do processo pelo operador	3	126	Elaboração de programa de manutenção autônoma (TPM) para limpeza periódica dos coleiros e das máquinas	Manutenção	15/5/2004	Não iniciado
11	Aplicação da capa ao miolo	Capa enroscada na máquina M4	Redução do índice de eficiência (IE)	8	Falha humana na alimentação de capas na M4	3	Inspeção visual		5	120	Instalação de sensor para parada da máquina no caso de capa invertida	Manutenção		Não iniciado
12	Aplicação da capa ao miolo	Miolo enroscado na máquina M4	Redução do índice de eficiência (IE)	8	Falha humana na alimentação de miolos na máquina M1	3	Inspeção visual		5	120	Instalação de sensor para parada da máquina no caso de miolo invertido	Manutenção		Não iniciado
13	Aplicação de cabeceado ao miolo	Excesso de cola no cabeceado	Redução do índice de qualidade (IQ)	3	Coleiro não permanece aquecido quando a máquina pára	7		Inspeção visual	5	105	Elaboração de instrução de trabalho com procedimentos para a parada da máquina	Engenheiro de processos	15/11/2003	Não iniciado
14	Acerto das máquinas	Atraso no acerto	Redução do índice de disponibilidade e (ID)	7	Falta de OP e/ou de informações para iniciar o acerto	3	Programação da produção, entregue diariamente ao encarregado		3	63	Verificação da disponibilidade de OP e informações necessárias antes do início do acerto	Encarregado	18/08/2003	Concluído

#	Função	Modo de falha potencial (problemas no processo)	Efeito da falha potencial	SE	Causa da falha potencial	OCCOR	Controle preventivo existente no processo	Controle detectivo existente no processo	DET	Nº	Ação recomendada	Responsável pela ação recomendada	Data para conclusão	Situação
15	Aplicação da capa ao miolo	Miolo e capa fora de quadro	Redução do índice de eficiência (IE)	8	Desregulagem do mecanismo de aplicação de capas	6		Inspeção visual	1	48	Aprimorar mecanismo de aplicação de capas	Engenheiro de processos		Não iniciado
16	Aplicação da capa ao miolo	Guarda rasgada, dobrada ou com bolhas	Redução do índice de eficiência (IE)	8	Desregulagem do mecanismo de aplicação de capas	6		Inspeção visual	1	48	Aprimorar mecanismo de aplicação de capas	Engenheiro de processos		Não iniciado
17	Acerto das máquinas	Perdas por problemas de qualidade	Redução do índice de qualidade (IQ)	3	Não observância, pelo operador, do procedimento de acerto	3	Instruções de trabalho		5	45	Revisão da instrução de trabalho para acerto	Engenheiro de processos e operadores		Não iniciado
18	Vincagem da capa	Vinco da capa danificando a capa	Redução do índice de eficiência (IE)	8	Capa frágil, especialmente se recebe laminação	3		Inspeção visual	1	24	Aprimorar mecanismo de vincagem da capa	Engenheiro de processos		Não iniciado
19	Vincagem da capa	Problemas no vinco da capa (fraco, torto, etc.)	Redução do índice de eficiência (IE)	8	Desregulagem do mecanismo de vincagem da capa	3		Inspeção visual	1	24	Aprimorar mecanismo de vincagem da capa	Engenheiro de processos		Não iniciado
20	Aplicação de cabeceado ao miolo	Problemas na aplicação de cola ao cabeceado (falta ou excesso)	Redução do índice de eficiência (IE)	8	Falta de limpeza periódica no coleiro	3		Inspeção visual	1	24	Elaboração de plano de manutenção autônoma (TPM) para limpeza periódica dos coleiros	Manutenção	15/5/2004	Não iniciado
21	Aplicação de cabeceado ao miolo	Problemas na aplicação do cabeceado (torto, faltando, etc.)	Redução do índice de eficiência (IE)	8	Desregulagem no aplicador do cabeceado	3		Inspeção visual	1	24	Revisão do mecanismo de aplicação de cabeceado	Manutenção		Não iniciado
22	Aplicação de cabeceado ao miolo	Excesso de cola no cabeceado	Redução do índice de qualidade (IQ)	3	Falta de limpeza periódica no coleiro	7		Inspeção visual	1	21	Elaboração de plano de manutenção autônoma (TPM) para limpeza periódica dos coleiros	Manutenção	15/5/2004	Não iniciado
23	Aplicação de cabeceado ao miolo	Cabeceado fora de posição	Redução do índice de qualidade (IQ)	3	Desregulagem no aplicador do cabeceado	7		Inspeção visual	1	21	Revisão do mecanismo de aplicação de cabeceado	Manutenção		Não iniciado

#	Função	Modo de falha potencial (problemas no processo)	Efeito da falha potencial	SEV	Causa da falha potencial	OCCOR	Controle preventivo existente no processo	Controle detectivo existente no processo	DFI	NP	Ação recomendada	Responsável pela ação recomendada	Data para conclusão	Situação
24	Vincagem da capa	Vinco da capa danificando a capa	Redução do índice de qualidade (IQ)	3	Capa frágil, especialmente se recebe laminação	6		Inspeção visual	1	18	Aprimorar mecanismo de vincagem da capa	Engenheiro de processos		Não iniciado
25	Vincagem da capa	Vinco da capa danificando a capa	Redução do índice de qualidade (IQ)	3	Desregulagem do mecanismo de vincagem da capa	6		Inspeção visual	1	18	Aprimorar mecanismo de vincagem da capa	Engenheiro de processos		Não iniciado
26	Aplicação de capa ao miolo	Falta de cola na guarda	Redução do índice de qualidade (IQ)	3	Falta de limpeza periódica do coleiro	4		Inspeção visual	1	12	Elaboração de plano de manutenção autônoma (TPM) para limpeza periódica dos coleiros	Manutenção	15/5/2004	Não iniciado
27	Aplicação de capa ao miolo	Miolo fora de esquadro em relação à capa	Redução do índice de qualidade (IQ)	3	Desregulagem da máquina M4	4		Inspeção visual	1	12	Revisão do mecanismo da máquina M4	Manutenção		Não iniciado
28	Aplicação de capa ao miolo	Guarda rasgada, dobrada ou com bolhas	Redução do índice de qualidade (IQ)	3	Desregulagem da máquina M4	4		Inspeção visual	1	12	Revisão do mecanismo da máquina M4	Manutenção		Não iniciado

Elaborado pelo autor.

Figura 62 - Análise PFMEA do processo de encadernação de livros.

3.9.2 Descrição das ações implementadas

Nesta seção são descritas as ações implementadas para a redução das seis grandes perdas e conseqüente aumento do OEE da linha de encadernação de livros. Foi utilizada a análise PFMEA descrita na seção 3.9.1 para a priorização das ações de melhoria. Outras ações não apontadas na análise também foram implementadas, tais como treinamento dos operadores no conceito OEE e implantação de sistema de gestão à vista.

Os resultados obtidos também são apresentados, porém uma discussão mais detalhada sobre o aumento global da eficiência da linha de produção é feita no próximo capítulo.

Treinamento

Foram realizadas, no mês de agosto de 2003, seções de treinamento com os operadores da linha de encadernação sobre o conceito OEE. Este treinamento foi conduzido por um analista de controle de qualidade e compreendeu os seguintes temas: apresentação do índice OEE, metodologia de cálculo e interpretação do índice e impacto dos diversos programas de melhoria existentes na empresa sobre o OEE.

Nestas exposições foi enfatizada a necessidade de envolvimento de todos para o sucesso em atingir o objetivo de aumento do índice. Foram mostrados exemplos práticos de ações e atitudes que provocam queda no OEE da linha de produção, em especial as esperas por materiais e produtos para processar.

Foi mostrada também a necessidade de executar todas as ordens de produção a uma velocidade apropriada, independentemente de haver ou não ordem de produção em seguida. Isto porque era rotina produzir uma ordem de produção em ritmo mais lento do que o normal, caso não houvesse outra ordem de produção em seguida, o que causava queda no índice de desempenho e no OEE. A causa disto era a seguinte: apesar do índice OEE já ser utilizado há alguns meses pela direção da fábrica para a avaliação da eficiência da linha de encadernação, os operadores não tinham conhecimento deste fato, desconhecendo os critérios pelos quais eram avaliados.

O treinamento, com seções de uma hora de duração, foi realizado em um auditório com capacidade para aproximadamente 100 pessoas, dotado de sistema audiovisual (computador e *datashow*). Foi utilizada linguagem acessível aos operadores e foram mostrados muitos exemplos práticos sobre os temas tratados.

O resultado deste treinamento foi um maior envolvimento de todos os operadores com a meta de aumento do OEE para 40% até o final do ano de 2003. Foi obtido também um aumento na eficiência do equipamento, pela redução ou eliminação, pelos operadores, de ações que causavam perda de eficiência. O treinamento permitiu também uniformizar a linguagem e os conceitos utilizados na avaliação da eficiência da linha de encadernação entre os diversos envolvidos: gerentes, encarregados, engenheiros de processo e de controle de qualidade e operadores.

Sistema de gestão à vista

Para disponibilizar as informações referentes ao desempenho da linha de encadernação de forma rápida para todos os operadores foi colocado um painel junto à máquina, onde foram afixados gráficos contendo informações sobre o OEE e tempos improdutivos. Os gráficos afixados foram os seguintes:

1. **Evolução mensal do OEE no ano.** Gráfico de barras mostrando a evolução, mês a mês, do OEE da linha de encadernação de livros. Fornece uma visão geral da situação da linha e é atualizado mensalmente.
2. **Tempos improdutivos.** Gráfico de Pareto mostrando o total de horas improdutivas por tipo, comparadas com as verificadas no mês anterior. Usado para a verificação da eficácia das medidas tomadas para a redução destes tempos improdutivos. Atualizado mensalmente.
3. **OEE diário e acumulado no mês.** Este gráfico apresenta o desempenho diário (OEE) da linha de encadernação, assim como o total acumulado no mês. Tem o objetivo de verificar o OEE do mês até o momento em relação à meta de 40%, assim como a sua evolução. Atualizado diariamente.

4. **Índices ID, IE, IQ e OEE diários.** Este gráfico permite a verificação das causas de eventuais quedas no OEE, através da análise dos índices usados no seu cálculo. Atualizado diariamente.
5. **Índices ID, IE, IQ e OEE diários por turno.** Este gráfico apresenta as mesmas informações do gráfico anterior, porém separadas por turno (1, 2 e 3). Tem como objetivos tanto a análise rápida das causas de queda na eficiência quanto a indicação do desempenho de cada turno, apontando eventuais diferenças entre eles. Este gráfico teve grande impacto sobre os operadores, que passaram a acompanhar de perto o desempenho dos seus respectivos turnos. Ocorreu até uma disputa saudável entre os turnos pela liderança no OEE, fato que contribuiu para o aumento deste índice. Atualizado diariamente.

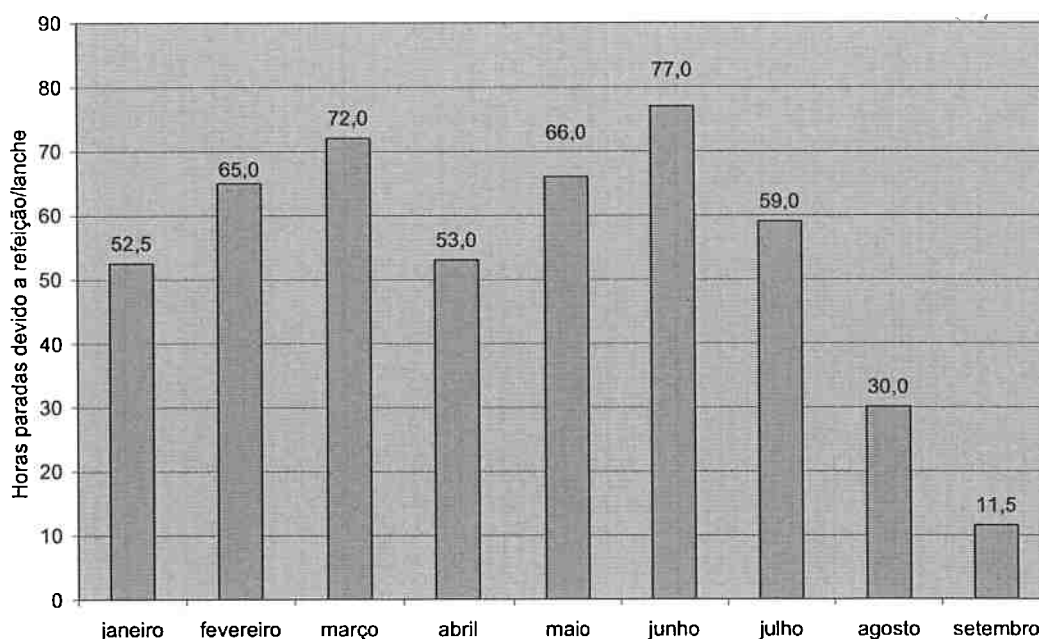
A Figura 63 mostra uma representação esquemática do painel de gestão à vista implantado junto à linha de produção, com a numeração dos gráficos conforme exposto acima.

A definição das informações a serem divulgadas no painel foi feita pelo gerente do setor de acabamento, em conjunto com o autor. O autor participou ainda da construção do painel e foi o responsável pela elaboração e atualização dos gráficos, a partir dos dados do sistema de apontamento da produção da empresa.

Observou-se, após a implantação do painel, um maior envolvimento dos operadores com a meta de aumento da eficiência da linha de produção. Verificou-se também uma maior democratização do acesso às informações de desempenho da linha, que antes era restrito ao gerente e aos supervisores, únicos a terem acesso ao sistema informatizado de apontamento da produção.

Escala de revezamento para refeição/lanche

Conforme se observa da Figura 25, os tempos improdutivos devido a paradas para refeição ou lanche dos operadores são a maior fonte de paradas da máquina, representando aproximadamente 33 % do total das horas improdutivas. Para reduzir estas paradas, foi elaborada uma escala de revezamento para os horários de refeição dos operadores da linha de encadernação.



Fonte: sistema de apontamento da produção.

Figura 64 - Evolução das paradas causadas por refeição ou lanche dos operadores.

Deve-se observar que esta medida só foi possível pois havia na época ociosidade em vários equipamentos da fábrica, devido à baixa produção causada pela recessão econômica verificada nesta ocasião. Portanto, esta medida não poderá ser adotada quando a gráfica estiver operando próximo da sua capacidade máxima.

Revisão dos códigos de apontamento da produção

Muitas ocorrências na linha de encadernação eram apontadas sob o código 'Outros' devido à falta de códigos apropriados para o seu registro. Estas ocorrências totalizavam 24 % do total das horas improdutivas, conforme Figura 25. Para resolver este problema, foi feita uma revisão dos códigos de apontamento existentes, com a sugestão de criação de dez novos códigos:

- Problemas na M2
- Cabeceado deslocado (M3)
- Cabeceado sem cola (M3)
- Guarda com falta/excesso de cola, enrugada ou com bolha (M4)

- Guarda fora de esquadro (M4)
- Miolo enroscado no coleiro (M4)
- Livro enroscado na M5
- Vinco delaminando/sujo (M5)
- Risco na capa (M5)
- Vinco ruim (M5)

O autor participou deste estudo, juntamente com o encarregado do setor e os operadores da linha. Infelizmente, até a conclusão deste trabalho, os novos códigos ainda não haviam sido criados, pois se aguardava aprovação do Diretor de Controle de Qualidade, uma vez que os códigos de apontamento são compartilhados pelas diversas fábricas do grupo.

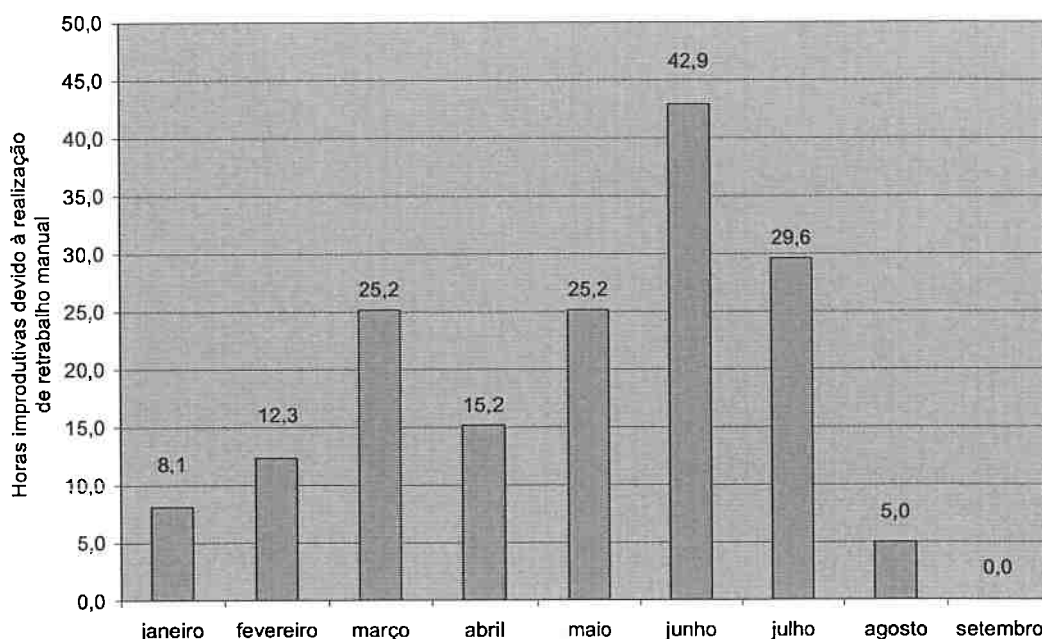
Espera-se, com a criação e utilização dos novos códigos de apontamento, a identificação das causas das paradas atualmente registradas como 'Outros', o que permitirá a proposta e implementação de ações de melhoria para a sua redução.

Realização de retrabalho em outro equipamento

Uma fração dos livros encadernados necessita de retrabalho, por apresentar alguma não conformidade. Este retrabalho é realizado pelos próprios operadores da linha de encadernação, em bancada situada junto a esta e pode variar desde a simples colocação de um pouco de cola no cabeceado até a separação da capa e do miolo para que sejam novamente encadernados.

Este retrabalho era realizado com a máquina parada e esta foi a quarta maior causa de parada na linha de produção no primeiro semestre de 2003, conforme revela o gráfico da Figura 25, representando 11 % do total de horas improdutivas.

Para reduzir esta perda, foi decidido pelo gerente do setor de acabamento que todos os livros não conformes produzidos na linha de encadernação fossem retrabalhados em outro equipamento de encadernação, mais antigo. Esta medida foi bem sucedida na redução dos tempos improdutivos, conforme mostra a Figura 65.



Fonte: sistema de apontamento da produção.

Figura 65 - Evolução das paradas devido à realização de retrabalho manual.

Da mesma forma que a criação de uma escala de revezamento para o horário de refeição/lanche dos operadores, a opção de realizar o retrabalho gerado na linha de encadernação em outro equipamento só pode ser tomada em uma situação de ociosidade da fábrica, como a verificada durante a realização deste trabalho.

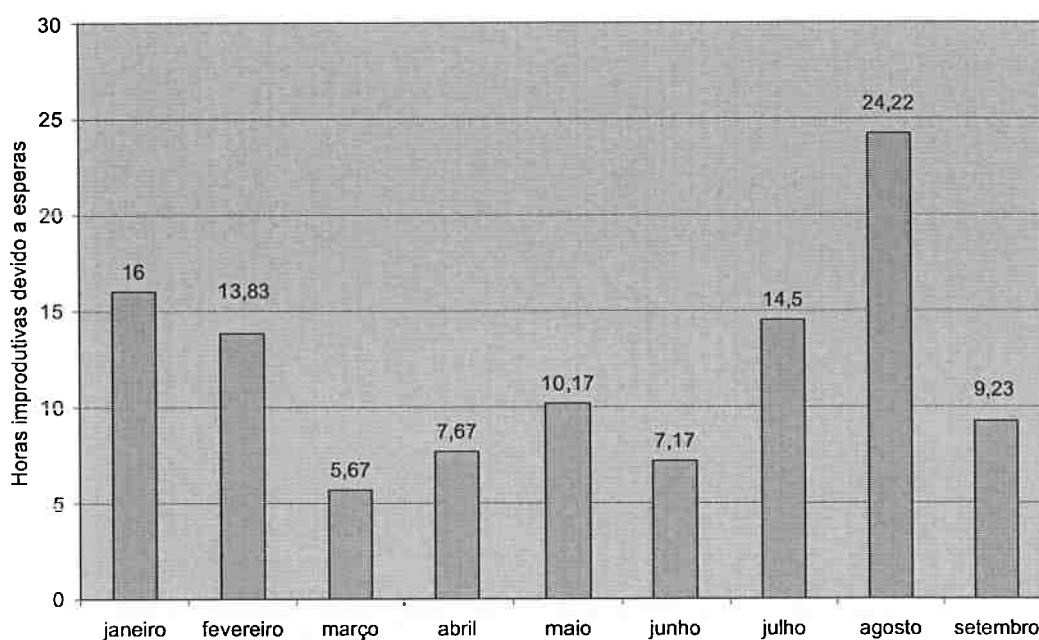
Redução das esperas

A linha encadernadora de livros recebe miolos costurados do setor de costura ou miolos colados (sistema PUR) de outra linha de produção e capas do setor de montagem de capas. Atrasos nestes setores, ou em setores anteriores, causam atrasos na produção em relação à programação, acarretando queda no índice de disponibilidade.

Para a redução dos tempos improdutivos causados por atrasos em processos anteriores, o encarregado do setor passou a ter a atribuição, à partir de agosto de 2003, de analisar a programação da linha de encadernação e verificar se os miolos e capas necessários à produção estão disponíveis na hora programada para o início da encadernação.

Além de atrasos nos processos anteriores, o encarregado também passou a verificar a disponibilidade dos materiais e das informações necessárias à produção.

Esta medida permitiu prever atrasos nos processos anteriores à encadernação e proceder às mudanças necessárias na programação, eliminando ou reduzindo o impacto negativo destes atrasos sobre o índice de disponibilidade e o OEE da linha de encadernação. A Figura 66 mostra a evolução das horas improdutivas causadas por esperas.



Fonte: sistema de apontamento da produção.

Figura 66 - Evolução das paradas devido a esperas.

A análise do gráfico da Figura 66 revela que, embora tenha havido uma redução das horas improdutivas causadas por esperas no mês de setembro, em relação aos dois meses anteriores, na comparação com os demais meses não houve queda, o que mostra que esta medida não surtiu o efeito desejado.

4 DISCUSSÃO

A seção 3.9.2 mostrou cada uma das ações de melhoria implementadas na empresa e o seu resultado específico. Nesta seção é mostrado o impacto que todas estas medidas tiveram sobre o OEE da linha de encadernação. São também propostas outras ações de melhoria a serem implementadas no futuro, com o objetivo de continuar o processo de aumento da eficiência desta linha de produção.

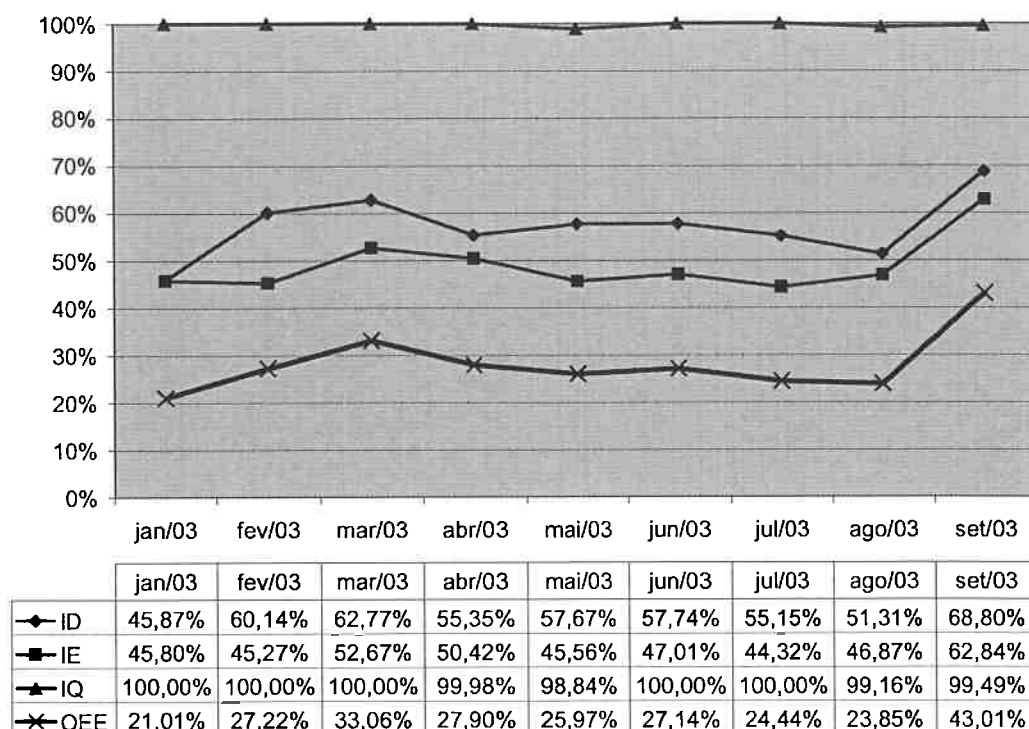
4.1 Benefícios obtidos

As ações de melhoria foram implementadas à partir da segunda quinzena do mês de agosto de 2003, mas seus resultados somente foram sentidos no mês de setembro. Este trabalho foi encerrado no início do mês de outubro, portanto os dados do mês de setembro serão utilizados na análise dos benefícios obtidos.

A evolução dos índices de disponibilidade, eficiência, qualidade e OEE da linha de encadernação no ano de 2003, que se encontra representada na Figura 67, mostra um aumento significativo na eficiência da linha no mês de setembro, como consequência das ações de melhoria implementadas.

O aumento no índice de disponibilidade (ID) é o resultado das ações tomadas para a redução dos tempos improdutivos (escala de revezamento para refeições/lanche, realização de retrabalho em outro equipamento e redução de esperas).

Já o aumento no índice de eficiência (IE) reflete o aumento da velocidade média de operação, resultado da tomada de consciência pelos operadores da necessidade de produzir na máxima velocidade possível. Isto foi uma consequência das ações de treinamento da equipe e construção do painel de gestão à vista, que despertaram nos operadores um grande envolvimento com a meta de aumento do OEE.



Fonte: sistema de apontamento da produção. Elaborado pelo autor.

Figura 67 - Evolução dos índices de disponibilidade, eficiência, qualidade e OEE no ano de 2003.

O índice de qualidade (IQ) não sofreu alteração, permanecendo próximo a 100%. É preciso lembrar, porém, que conforme mencionado anteriormente (seção 3.3), devido às características do sistema de apontamento da produção, a produção não-conforme destinada a retrabalho não era apontada. Portanto, o índice de qualidade está superestimado, enquanto que o índice de desempenho está subestimado.

Através da amostragem descrita na seção 3.5.4 foi estimado que as perdas durante a produção são de 2,13%, o que conduz a um índice de qualidade da linha de encadernação de 97,87%. Porém, mesmo considerando-se este valor, as perdas por qualidade constituem uma parcela menor entre as seis grandes perdas que conduzem a um baixo OEE. Isto confirma que as perdas por paradas são muito mais significativas do que as perdas por problemas de qualidade, conforme exposto na seção 3.3.

O efeito combinado das ações de melhoria descritas acima produziu um significativo aumento no OEE, que no mês de setembro foi dez pontos percentuais superior ao melhor resultado do ano, que havia sido obtido no mês de março.

É interessante notar que o desempenho da linha de encadernação no mês de agosto, quando foi iniciada a implantação das ações de melhoria, foi o pior do ano. Este fato pode ser explicado pela instabilidade gerada na implementação das ações de melhoria, que requereram algumas semanas para serem assimiladas por todos.

A meta de 40% para o OEE da linha de encadernação, que deveria ser atingida até o final do ano de 2003, foi superada no mês de setembro, demonstrando a eficácia das ações de melhoria implementadas.

4.2 Próximos passos

Apesar do significativo aumento no OEE obtido através das ações de melhoria descritas anteriormente, o índice de setembro (43,01%) ainda é muito baixo se comparado com o *benchmark* mundial das melhores empresas, que é superior a 85%. Portanto, ainda há muito potencial de ganho de produtividade na empresa, e esta seção trás sugestões de ações de melhoria para se conseguirem alcançar estes ganhos.

Conforme já mencionado, algumas das ações de melhoria somente são possíveis de serem praticadas havendo ociosidade na fábrica, tal como ocorria quando da conclusão deste trabalho. Portanto, novas ações para o aumento da produtividade devem ser tomadas.

4.2.1 Revisão das velocidades padrão

Conforme verificado na análise de capacidade do processo quanto à velocidade de operação (seção 3.7.2), este é incapaz de atender às especificações determinadas pelo departamento de vendas. Isto resulta em constantes atrasos na produção em relação à programação, com conseqüentes perdas financeiras.

Portanto, é preciso que estas especificações sejam revisadas, para refletirem a real capacidade da linha de encadernação. Os resultados da análise feita para a busca

de causas assinaláveis de variação (seção 3.6.1) podem servir de base para uma proposta de velocidades padrão. Estes resultados encontram-se na Tabela 20.

Tabela 20 - Velocidades de operação (em livros por hora).

		Formato PC (mm)	
		≤ 224	> 224
Tipo da capa	Dura	1.717	963
	Flexível	1.075	993

Elaborado pelo autor.

A análise dos valores de velocidade mostra que apenas é significativa a diferença entre os livros de capa dura e com formato pé-cabeça menor ou igual a 224 mm e os demais produtos. Portanto, seria possível criar dois grupos de produtos, conforme Tabela 21.

Tabela 21 - Proposta de velocidades padrão de operação (em livros por hora).

		Formato PC (mm)	
		≤ 224	> 224
Tipo da capa	Dura	1.700	1.000
	Flexível	1.000	1.000

Elaborado pelo autor.

Estes resultados são sensivelmente diferentes dos atualmente praticados pela empresa e apresentados na Tabela 15.

Os valores sugeridos representam a situação atual da linha de encadernação, e devem ser revistos periodicamente ou assim que ações de melhoria sejam implementadas.

4.2.2 Elaboração de instrução de trabalho para a parada de máquina

Para colas de aplicação a quente, o coleiro deve permanecer aquecido, impedindo que a mesma seque. Isto não é feito nas paradas prolongadas da linha, tais

como em finais de semana ou feriados, ocasionando significativas perdas por problemas de qualidade ou por pequenas paradas.

Para resolver este problema, é preciso elaborar e implantar instrução de trabalho orientando os operadores sobre os procedimentos a serem adotados antes da parada da linha. Tais procedimentos envolvem: preparação da máquina para a parada, estabelecimento da temperatura em que deve ser mantido o coleiro durante a parada e ações a serem tomadas quando da recolocação da máquina em operação.

Estudos detalhados devem ser conduzidos para a determinação dos melhores procedimentos e temperatura do coleiro, envolvendo o engenheiro de processos e os operadores da linha de encadernação. Este estudo não é feito neste trabalho.

4.2.3 Implementação de programa de Manutenção Autônoma

O conceito de manutenção autônoma está inserido dentro da metodologia de Manutenção Produtiva Total (TPM – *Total Productive Maintenance*). A TPM tem como objetivos: eliminação de perdas, desperdícios, defeitos, quebras e acidentes, maximização do ciclo de vida útil e do rendimento operacional e desenvolvimento dos operadores enquanto seres humanos.

Segundo a FCAV, a manutenção autônoma consiste na delegação de algumas atividades, tradicionalmente realizadas pelo pessoal da manutenção, para o operador da máquina, e é implantada através dos seguintes passos:

1. Limpeza inicial. É uma limpeza da máquina com inspeção e compreende as seguintes atividades:

- Eliminação de sujeiras
- Lubrificação
- Reaperto de porcas e parafusos
- Detecção e análise das anomalias, através de etiquetagem
- Realização de reparos

O processo de etiquetagem consiste na identificação visual de anomalias, durante a limpeza inicial, e na afixação de etiquetas descrevendo estas anomalias.

As etiquetas são afixadas na máquina, junto ao local da anomalia. Outra cópia das etiquetas é afixada em um quadro, para análise. As etiquetas são feitas em duas cores diferentes, uma para indicar anomalias de responsabilidade do operador e outra para anomalias de responsabilidade da manutenção.

2. Eliminação de fontes de sujeiras e locais de difícil acesso. Na linha de encadernação, as principais fontes de sujeira são os coleiros os sistemas que entram em contato com a cola, pois esta, ao secar, danifica engrenagens e transmissões. As aparas de papel kraft que sobram após o refile não possuem local específico para o seu acondicionamento, sendo acumuladas junto à máquina, atrapalhando a passagem e contribuindo para o risco de acidentes.

Todas as partes da linha de encadernação são de fácil acesso, tanto para inspeção quanto para manutenção. A linha é dotada de portas acrílicas ou de tela de arame nos sistemas mais importantes, permitindo a sua inspeção visual. Estas portas também são utilizadas para a manutenção e regulagem das máquinas.

3. Elaboração de padrões provisórios de limpeza, inspeção e lubrificação. São normas para garantir a eficiência da lubrificação, limpeza e inspeção das máquinas, descrevendo como, quando, com que frequência, por quem e por quê devem ser feitas. Atualmente, não existe padrão de limpeza, inspeção e lubrificação disponível aos operadores da linha de encadernação de livros.
4. Inspeção geral. Nesta fase são elaborados os manuais de inspeção geral e implementado o controle visual. O controle visual compreende as seguintes atividades:
 - Identificação visual dos pontos de inspeção e de lubrificação, através do uso de símbolos. Nestes símbolos, a cor indica o tipo de atividade (inspeção, lubrificação, etc.) e a forma do símbolo, a frequência (por turno, diária, semanal, e outras). Outras informações podem ser transmitidas através do uso de texto e de desenhos.
 - Controle visual de folgas em correias, aperto de parafusos, indicadores de limites em mostradores analógicos, indicadores visuais de nível de óleo e de desgaste de pastilhas, e outros.

Na fase de inspeção geral também é realizado o treinamento dos operadores em assuntos fundamentais tais como lubrificação, pneumática, hidráulica, bombas, válvulas, eletricidade e mecânica. Recomenda-se o uso de instruções claras sobre cada um dos tópicos de limpeza, inspeção e lubrificação, de preferência através do uso de fotos e/ou ilustrações. Deve-se informar os operadores sobre os problemas críticos do equipamento.

5. Inspeção Autônoma. Nesta etapa, as atividades de responsabilidade do operador e as de responsabilidade do manutentor já estão definidas. Deve ser usada uma folha de verificação para facilitar a execução das atividades de manutenção autônoma sob responsabilidade do operador. É útil a construção de um croqui da máquina, com a indicação dos pontos de inspeção e a descrição das atividades a serem desenvolvidas em cada um deles. Uma folha de verificação também deve ser afixada junto a cada ponto de inspeção.
6. Padronização. A esta altura já se espera do operador uma postura pró-ativa em relação às condições da máquina, suas carências e necessidades de aprimoramento. Nesta etapa, faz-se a padronização das normas e procedimentos e a organização das ferramentas e instrumentos de medição.

Na fase de padronização também é feito o registro e a análise dos dados referentes à manutenção, com o objetivo de aumentar continuamente o conhecimento sobre o equipamento.

A linha de encadernação já passou por um programa de 5S, portanto encontra-se em condições satisfatórias de organização e arrumação, existindo caixa de ferramentas próxima à máquina e identificação, por meio de etiquetas, de todas as peças e ferramentas.

7. Consolidação. É a fase de maturidade do processo, onde é consolidada a postura do operador frente à manutenção do equipamento. São definidas diretrizes e metas empresariais no que se refere à manutenção, e são realizadas auditorias para a garantia de que todos os procedimentos definidos nas fases anteriores estejam sendo cumpridos.
-

Conforme demonstrado nos diagramas de causa e efeito e na análise PFMEA (seções 3.8 e 3.9.1, respectivamente), muitas perdas por paradas e por problemas de qualidade têm origem em quebras e desregulagens que poderiam ser eliminadas com a adoção de um programa de manutenção autônoma. Este seria beneficiado pelo programa de 5S já implantado na linha de produção e ampliaria os seus benefícios.

4.2.4 Implementação do Controle Estatístico do Processo (CEP)

Após a implementação das ações de melhoria propostas anteriormente, é necessária a realização das análises de estabilidade e capacidade do processo, nos moldes do que foi feito nas seções 3.5, 3.6 e 3.7. Uma vez verificada a estabilidade e a capacidade do processo, o próximo passo é a sua monitoramento, através do uso de gráficos de controle.

É particularmente importante o controle da velocidade de operação, que determina o índice de eficiência (IE), sendo esta a parcela que mais contribui para o baixo valor do OEE, conforme demonstra a Figura 67 da seção 4.1.

A velocidade de operação (ou o próprio índice de eficiência) deve ser monitorada separadamente para cada um dos grupos de produtos definidos na seção 3.6.1, pois cada um destes grupos apresenta valores distintos para a média e o desvio padrão. O gráfico de controle a ser utilizado deve ser o de valores individuais para variáveis (ver seção 2.3.1), e a variável de controle é a velocidade de operação (ou o índice de eficiência) por ordem de produção.

Os limites de controle adotados serão aqueles obtidos assim que o processo atinja as condições de estabilidade e capacidade, e estes limites devem ser revisados periodicamente, ou quando ocorrerem inovações técnicas no processo.

4.2.5 Cronograma de implementação das ações de melhoria propostas

Uma proposta de cronograma para a implementação das ações de melhoria propostas acima é apresentado na Figura 68.

	2003			2004				
	Outubro	Novembro	Dezebro	Janeiro	Fevereiro	Março	Abril	Maio
Revisão das velocidades padrão								
Elaboração de instrução de trabalho para a parada de máquina								
Implementação do programa de manutenção autônoma								
>Limpeza Inicial								
>Eliminação de fontes de sujeiras e locais de difícil acesso								
>Padrões provisórios de limpeza, inspeção e lubrificação								
>Inspeção Geral								
>Inspeção Autônoma								
>Padronização								
>Consolidação								
Implementação do CEP								

Elaborado pelo autor.

Figura 68 – Cronograma para a implementação das ações de melhoria propostas.

5 CONCLUSÕES

Este trabalho apresentou um estudo bastante profundo das condições de operação de uma linha de encadernação de livros. A partir dos dados coletados e das análises estatísticas realizadas, foi possível a determinação das principais causas da baixa eficiência da linha e foram propostas ações de melhoria para a sua eliminação.

A implementação de algumas destas ações de melhoria produziu um significativo aumento do índice de eficiência global da linha, de uma média de 27,05% no primeiro semestre de 2003 para 43,01% no mês de setembro do mesmo ano. Apesar deste ganho de produtividade, esta ainda é muito baixa e as demais ações de melhoria propostas devem ser implantadas para que se atinjam ganhos ainda maiores e mais duradouros.

Este trabalho teve forte uso das ferramentas estatísticas de análise, nos moldes da metodologia Seis Sigma. Apesar de essencialmente teórica, esta fase de coleta e análise de dados é fundamental em qualquer projeto de melhoria. As ações propostas, fruto destas análises, devem ser detalhadas e implementadas em trabalho posterior, de caráter mais prático e técnico.

Finalmente, o autor espera ter contribuído, através deste trabalho, não apenas para o aumento da produtividade da linha de encadernação de livros estudada, mas também para o avanço da indústria gráfica brasileira, tão importante e tão carente de estudos de qualidade.

6 ANEXOS

6.1 Anexo A – Folha de verificação para a Amostragem do Trabalho

Amostragem de Trabalho - Levantamento de tempos improdutivos			
Pequenas paradas			
Máq. / Linha:			
Coleta de dados			
Responsável:		Data início:	Data término:
Categoria	Item	Observações	Total
Produtivos	Produzindo		
Improdutivos	Espera (material, processo anterior, autorização, inf. complem., etc.)		
	Problema M1 (alimentação miolos, colagem crepe)		
	Problema M2 (refile tri-lateral)		
	Problema M3 (alimentação de miolos com crepe)		
	Problema M3 (arredondamento lombada, colocação cabeceado)		
	Problema M4 (aliment. capas, aplic. cola na guarda, colocação capas)		
	Problema M5 (vinco, prensagem, saída)		
	Fazendo retrabalho manualmente com a linha/máq. parada		
	Manutenção (geral / elétrica / mecânica)		
	Limpeza		
	Treinamento		
	Sem serviço		
	Refeição / Lanche		
Outros			
Acerto	Acerto / troca de serviço		

Elaborado pelo autor.

6.2 Anexo B – Folha de verificação para a determinação da fração defeituosa (p)

COLETA DE DADOS - FRAÇÃO DEFEITUOSA									
OP					N. de páginas				
Tipo de capa			dura	flexível	Formato (mm)				
Tipo de miolo					Tipo de lombada		redonda	quadrada	
Tiragem					Cabeceado		sim	não	
Resp. coleta de dados									
Data			Hora						
Contador		Tam. da amostra		Total de livros não conformes (refugados + para retrabalho)					
Início		Término							
Ocorreram causas assinaláveis durante a coleta da amostra?							sim	não	
Em caso positivo, qual (is)?			Problema no cabeceado						
			Problema na cola da guarda						
			Problema no vinco						
			Problemas na capa (riscos/rasgando)						
			Miolo/capa enroscado						
			Troca de material (kraft/fita cabeceado)						
Outros (descrever)									
OP					N. de páginas				
Tipo de capa			dura	flexível	Formato (mm)				
Tipo de miolo					Tipo de lombada		redonda	quadrada	
Tiragem					Cabeceado		sim	não	
Resp. coleta de dados									
Data			Hora						
Contador		Tam. da amostra		Total de livros não conformes (refugados + para retrabalho)					
Início		Término							
Ocorreram causas assinaláveis durante a coleta da amostra?							sim	não	
Em caso positivo, qual (is)?			Problema no cabeceado						
			Problema na cola da guarda						
			Problema no vinco						
			Problemas na capa (riscos/rasgando)						
			Miolo/capa enroscado						
			Troca de material (kraft/fita cabeceado)						
Outros (descrever)									

Elaborado pelo autor.

6.3 Anexo C – Dados coletados para o Delineamento de Experimentos

Dados referentes às ordens de produção da linha de encadernação de livros no primeiro semestre de 2003, utilizados no Delineamento de Experimentos para a determinação de causas assinaláveis de variação na velocidade de operação da linha. Dados obtidos à partir do sistema de apontamento da produção da empresa (números das ordens de produção fictícios).

OP	N. pág.	For. PC (mm)	Capa	Lom-bada	Cabe-ceado	Vel média	OP	N. pág.	For. PC (mm)	Capa	Lom-bada	Cabe-ceado	Vel média
1	160	275	Flex	Quadrada	Sim	1.173	95	1.632	210	Flex	Redonda	Sim	909
2	544	184	Flex	Redonda	Sim	2.056	96	176	295	Dura	Quadrada	Sim	487
3	544	184	Flex	Redonda	Sim	2.056	97	464	230	Dura	Quadrada	Sim	1.517
4	160	234	Flex	Redonda	Sim	1.417	98	344	235	Dura	Redonda	Sim	969
5	160	234	Flex	Redonda	Sim	1.079	99	800	210	Dura	Quadrada	Sim	1.331
6	64	276	Flex	Redonda	Não	919	100	800	210	Dura	Quadrada	Sim	1.284
7	32	240	Flex	Quadrada	Não	887	101	800	210	Dura	Quadrada	Sim	1.146
8	368	197	Dura	Redonda	Não	1.864	102	800	210	Dura	Quadrada	Sim	1.243
9	160	168	Dura	Quadrada	Não	1.314	103	800	210	Dura	Quadrada	Sim	1.248
10	1.824	275	Dura	Quadrada	Sim	305	104	800	210	Dura	Quadrada	Sim	1.918
11	56	170	Dura	Quadrada	Não	1.618	105	800	210	Dura	Quadrada	Sim	1.169
12	56	170	Dura	Quadrada	Não	958	106	800	210	Dura	Quadrada	Sim	1.451
13	712	224	Flex	Redonda	Não	556	107	800	210	Dura	Quadrada	Sim	2.037
14	1.560	224	Flex	Redonda	Não	575	108	800	210	Dura	Quadrada	Sim	1.114
15	64	186	Flex	Redonda	Não	1.106	109	800	210	Dura	Quadrada	Sim	1.518
16	1.172	243	Flex	Redonda	Sim	904	110	816	210	Dura	Quadrada	Sim	1.296
17	1.632	278	Dura	Redonda	Sim	457	111	512	210	Dura	Quadrada	Sim	1.286
18	400	165	Dura	Redonda	Sim	1.735	112	800	210	Dura	Quadrada	Sim	1.986
19	288	224	Dura	Redonda	Sim	2.152	113	848	210	Dura	Quadrada	Sim	4.512
20	480	224	Dura	Redonda	Sim	1.749	114	800	210	Dura	Quadrada	Sim	1.386
21	720	240	Dura	Quadrada	Sim	818	115	800	210	Dura	Quadrada	Sim	1.392
22	320	165	Dura	Redonda	Sim	2.092	116	848	210	Dura	Quadrada	Sim	1.044
23	320	165	Dura	Redonda	Sim	1.961	117	816	210	Dura	Quadrada	Sim	1.718
24	416	197	Dura	Redonda	Sim	1.756	118	800	210	Dura	Quadrada	Sim	1.715
25	576	197	Dura	Redonda	Sim	1.238	119	800	210	Dura	Quadrada	Sim	285
26	272	197	Dura	Redonda	Sim	1.926	120	800	210	Dura	Quadrada	Sim	1.386
27	176	224	Dura	Redonda	Sim	1.771	121	800	210	Dura	Quadrada	Sim	1.731
28	304	238	Dura	Redonda	Sim	1.953	122	800	210	Dura	Quadrada	Sim	1.154
29	352	228	Dura	Redonda	Sim	1.685	123	800	210	Dura	Quadrada	Sim	1.143
30	384	204	Dura	Quadrada	Não	1.902	124	560	210	Dura	Quadrada	Sim	2.242
31	128	280	Dura	Quadrada	Sim	740	125	800	210	Dura	Quadrada	Sim	1.034
32	224	204	Dura	Quadrada	Não	1.977	126	800	210	Dura	Quadrada	Sim	1.903
33	148	235	Dura	Quadrada	Sim	901	127	800	210	Dura	Quadrada	Sim	1.183
34	384	224	Dura	Redonda	Sim	1.969	128	688	275	Dura	Redonda	Sim	889
35	352	197	Dura	Redonda	Sim	2.079	129	1.440	275	Dura	Redonda	Sim	308
36	320	197	Dura	Redonda	Sim	1.808	130	544	184	Dura	Redonda	Sim	1.613
37	224	224	Dura	Redonda	Sim	2.128	131	1.472	208	Dura	Redonda	Sim	580
38	400	224	Dura	Redonda	Sim	1.754	132	1.136	180	Dura	Redonda	Sim	1.054
39	1.792	258	Dura	Redonda	Sim	447	133	208	225	Flex	Redonda	Sim	1.844
40	112	165	Dura	Redonda	Sim	1.493	134	336	224	Flex	Redonda	Sim	1.133
41	208	235	Dura	Redonda	Sim	813	135	608	230	Flex	Redonda	Sim	563
42	432	197	Dura	Redonda	Sim	1.974	136	320	165	Dura	Redonda	Sim	1.935
43	240	228	Flex	Redonda	Sim	877	137	568	230	Dura	Redonda	Sim	1.294
44	312	305	Dura	Quadrada	Sim	466	138	512	280	Flex	Redonda	Sim	767
45	336	220	Dura	Redonda	Sim	820	139	1.080	230	Dura	Redonda	Sim	1.502
46	336	165	Dura	Redonda	Sim	2.091	140	1.792	258	Dura	Redonda	Sim	588
47	512	224	Dura	Redonda	Sim	1.490	141	240	228	Dura	Redonda	Sim	1.175

OP	N. pág.	For. PC (mm)	Capa	Lom-bada	Cabe-ceado	Vel média	OP	N. pág.	For. PC (mm)	Capa	Lom-bada	Cabe-ceado	Vel média
48	352	224	Dura	Redonda	Sim	1.413	142	264	217	Flex	Redonda	Sim	1.501
49	744	230	Flex	Redonda	Sim	1.735	143	352	277	Dura	Redonda	Sim	1.609
50	270	220	Dura	Quadrada	Sim	589	144	352	277	Dura	Redonda	Sim	1.609
51	296	230	Flex	Redonda	Sim	530	145	240	202	Dura	Redonda	Sim	1.080
52	296	230	Flex	Redonda	Sim	530	146	88	280	Flex	Quadrada	Sim	885
53	1.160	230	Dura	Redonda	Sim	1.168	147	192	300	Dura	Quadrada	Sim	655
54	512	300	Dura	Redonda	Sim	1.116	148	800	210	Dura	Quadrada	Sim	1.162
55	144	260	Dura	Quadrada	Sim	800	149	1.152	150	Flex	Redonda	Sim	791
56	204	240	Dura	Redonda	Sim	2.006	150	56	230	Dura	Redonda	Não	1.031
57	1.472	150	Flex	Redonda	Sim	1.209	151	272	278	Dura	Redonda	Sim	1.167
58	992	150	Flex	Redonda	Sim	952	152	324	230	Flex	Redonda	Sim	1.020
59	1.408	150	Flex	Redonda	Sim	895	153	144	300	Dura	Quadrada	Sim	681
60	888	230	Dura	Redonda	Sim	646	154	280	228	Flex	Redonda	Sim	1.271
61	36	210	Flex	Redonda	Não	1.259	155	2.160	276	Dura	Quadrada	Sim	666
62	800	210	Dura	Quadrada	Sim	1.125	156	1.640	224	Dura	Redonda	Sim	411
63	800	210	Dura	Quadrada	Sim	1.125	157	220	275	Dura	Quadrada	Sim	806
64	432	276	Flex	Redonda	Sim	1.362	158	132	190	Dura	Redonda	Sim	972
65	224	210	Flex	Redonda	Sim	775	159	640	230	Dura	Redonda	Sim	1.589
66	564	278	Dura	Quadrada	Sim	806	160	136	207	Dura	Redonda	Sim	1.737
67	304	210	Flex	Redonda	Sim	1.219	161	136	207	Dura	Redonda	Sim	1.737
68	228	300	Dura	Quadrada	Sim	788	162	368	278	Dura	Redonda	Sim	809
69	220	240	Dura	Quadrada	Sim	789	163	84	280	Dura	Quadrada	Não	1.550
70	320	165	Dura	Redonda	Sim	1.685	164	512	278	Dura	Redonda	Sim	1.435
71	400	165	Dura	Redonda	Sim	1.792	165	256	200	Dura	Redonda	Não	1.141
72	160	165	Dura	Redonda	Sim	1.734	166	200	210	Flex	Quadrada	Sim	943
73	368	197	Dura	Redonda	Sim	1.919	167	800	210	Dura	Quadrada	Sim	1.277
74	512	197	Dura	Redonda	Sim	1.473	168	96	140	Dura	Quadrada	Não	1.204
75	416	197	Dura	Redonda	Sim	2.161	169	384	230	Flex	Redonda	Sim	820
76	368	224	Dura	Redonda	Sim	1.754	170	64	255	Dura	Quadrada	Não	1.476
77	228	224	Dura	Redonda	Sim	2.082	171	960	230	Dura	Quadrada	Sim	595
78	208	224	Dura	Redonda	Sim	1.620	172	466	230	Dura	Redonda	Sim	1.485
79	320	224	Dura	Redonda	Sim	1.767	173	32	280	Dura	Quadrada	Não	1.146
80	376	238	Dura	Redonda	Sim	1.715	174	80	260	Flex	Redonda	Não	929
81	544	238	Dura	Redonda	Sim	1.717	175	240	280	Dura	Quadrada	Sim	724
82	400	238	Dura	Redonda	Sim	1.691	176	768	277	Flex	Redonda	Não	506
83	656	238	Dura	Redonda	Sim	1.872	177	528	240	Dura	Redonda	Sim	1.213
84	224	260	Dura	Quadrada	Sim	1.005	178	456	240	Dura	Redonda	Sim	1.447
85	416	230	Flex	Redonda	Sim	1.188	179	120	180	Dura	Redonda	Não	1.315
86	360	230	Dura	Redonda	Não	1.695	180	320	255	Dura	Redonda	Sim	1.716
87	356	275	Dura	Redonda	Sim	791	181	280	228	Flex	Redonda	Sim	1.204
88	176	250	Dura	Quadrada	Sim	665	182	528	240	Dura	Redonda	Sim	1.284
89	176	250	Dura	Quadrada	Sim	665	183	64	255	Dura	Quadrada	Não	1.229
90	164	290	Dura	Quadrada	Sim	1.038	184	64	255	Dura	Quadrada	Não	1.017
91	1.196	280	Dura	Redonda	Sim	1.027	185	1.728	150	Flex	Redonda	Sim	738
92	1.120	225	Dura	Redonda	Sim	946	186	72	160	Dura	Quadrada	Sim	1.530
93	160	175	Dura	Quadrada	Sim	972	187	32	255	Dura	Quadrada	Não	1.136
94	160	175	Dura	Quadrada	Sim	972	188	280	228	Flex	Redonda	Sim	1.670

Fonte: sistema de apontamento da produção.

Não-conformidades			
Local	Detalhe	Apontamento	Soma
Cabeceado	cortado		
	deslocado (cabeceado alto) / torto		
	excesso de cola		
	faltando		
	sem cola		
Guarda	com orelhas / problemas de refilê		
	descolando		
	enrugada		
	excesso de cola		
	faltando		
	com rebarba		
	fora de esquadro		
	grudada (guarda branca)		
	com bolha		
	com orelha		
	invertida		
	mancha de impressão		
	rasgada/dobrada		
	suja		
Capa	defeitos de impressão/monta capas		
	estourada		
	descolada		
	bolha		
	amassada		
	invertida		
	riscada		
	suja (manchada)		
Vinco	estourado/estourando laminado		
	faltando		
	ruim		
	torto		
Miolo	amassado/rasgado		
	com cola		
	com orelhas		
	com problemas de impressão		
	crepe fora de posição		
	fora de medida		
	mal refilado		
	sujo		

Elaborado pelo autor.

LISTA DE REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA GRÁFICA. **7º Anuário Brasileiro da Indústria Gráfica 2002/2003**. São Paulo: Clemente & Gramani, 2002.

----. **Apresenta informações sobre o setor industrial brasileiro**. Disponível em: <<http://www.abigraf.org.br>>. Acesso em: 7 out. 2003.

ARAÚJO, Emanuel. **A Construção do Livro: princípios da técnica de editoração**. Rio de Janeiro: Nova Fronteira, Brasília: INL – Instituto Nacional do Livro, 1986.

BANCO NACIONAL DE DESENVOLVIMENTO ECONOMICO E SOCIAL. **Indústria Gráfica**. [S.I.], 1997. Disponível em: <<http://www.bndes.gov.br>>. Acesso em: 4 out. 2003.

CÂMARA BRASILEIRA DO LIVRO. **Produção e vendas do setor editorial brasileiro**. Disponível em: <<http://www.cbl.org.br>>. Acesso em: 04 out. 2003.

CONTADOR, José Celso. **Modelo para Aumentar a Competitividade Industrial: A Transição para a Gestão Participativa**. São Paulo: Edgard Blücher, 1996.

ESNAL, L. Editorial Abril de São Paulo: La gigante de América Latina. **ArtesGráficas**. 1999. Disponível em: <<http://www.artesgraficas.com>>. Acesso em: 7 out. 2003.

FUNDAÇÃO CARLOS ALBERTO VANZOLINI. **FMEA Análise dos Tipos de Falhas e Efeitos**. São Paulo, 2002.

----. **TPM – Total Productive Maintenance: introdução ao TPM**. São Paulo.

JURAN, Joseph M. **Quality Planning and Analysis**. 2.ed., [S.I.], McGraw Hill, 1980.

KUME, Hitoshi. **Métodos Estatísticos para a Melhoria da Qualidade**. São Paulo: Gente, 1993.

MAYNARD, H. B. **Manual de Engenharia de Produção**. São Paulo: Edgard Blücher, 1970. v. 3.

MIYAKE, D. I., FRANCISCHINI, P. G. **O modelo de Produção Enxuta (*Lean*) e o Sistema de Produção Just-in-time (*JIT*)**. São Paulo. Apostila da disciplina PRO 2421 – Sistemas de Apoio à Produção do curso de Eng. de Produção da Escola Politécnica da USP.

MONTGOMERY, Douglas C. **Introduction to Statistical Quality Control**. 4.ed., Nova Iorque, John Wiley & Sons, 2001.

MUSCAT, Antonio R. N., FLEURY, Afonso C. C. Indicadores da Qualidade e Produtividade na Indústria Brasileira. **Revista Indicadores da Qualidade e Produtividade**, v. 2, n. 1, p. 81 – 107, fev. 1993.

RAMOS, Alberto W. **Controle da Qualidade**. São Paulo: Optima Engenharia e Consultoria S/C Ltda.

ROTONDARO, Roberto G. (coordenador) **Seis Sigma: Estratégia Gerencial para a Melhoria de Processos, Produtos e Serviços**. São Paulo: Atlas, 2002.

SETEC. **FMEA**. São Paulo, 2002.

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO. Escola Politécnica. Serviço de Bibliotecas. **Diretrizes para apresentação de dissertações e teses**. 2.ed. São Paulo: Serviço de Bibliotecas da EPUSP, 2001. 39p.

VIVEIROS, R. **La industria gráfica de Brasil: Antes y después del Plan Real**. Artes Gráficas, 1999. Disponível em: <<http://www.artesgraficas.com>>. Acesso em: 7 out. 2003.

VORNE INDUSTRIES. **The Fast Guide to OEE for Production People on the Move**. Itasca, Illinois, Estados Unidos: 2002. Disponível em <www.vorne.com>. Acesso em: 15 set. 2003.

YOKOI, Roberto Takeshi. **Metodologia para análise e solução de problemas e sistema de gestão à vista: Em busca de eficiência produtiva numa convertidora de produtos adesivos**. São Paulo, 2001. Trabalho de formatura apresentado à Escola Politécnica da Universidade de São Paulo para a obtenção do Diploma de Engenheiro de Produção Área Mecânica.

GLOSSÁRIO

Acabamento	Atividades de finalização do livro, após a impressão
Alceamento	Colocação dos cadernos na sequência correta para a formação de um livro
Brochagem	Processo de encadernação no qual a capa é unida ao miolo por cola ou grampos aplicados à lombada
Cabeça	Parte superior do livro, correspondendo à região do cabeçalho das páginas
Cabeceado	Fita colorida de tecido usada para dar acabamento à lombada dos livros encadernados
Caderno	Folha de grandes dimensões, impressa e dobrada, que dará origem a um conjunto de páginas do livro
Capa dura	Capa montada à partir de um esqueleto de papelão revestido por papel, tecido ou material sintético, usada no processo de encadernação
Capa flexível	Capa montada apenas com papel cartão impresso, sem esqueleto de papelão, usada no processo de encadernação
Capa mole	Capa não montada, composta apenas por papel cartão impresso, usada no processo de brochagem
Códigos de apontamento	Códigos usados no preenchimento do Boletim Diário de Produção. Descrevem as diversas ocorrências possíveis na linha de produção
Coleiro	Depósito destinado ao armazenamento e distribuição da cola na máquina. Pode fazer também o aquecimento das colas de aplicação a quente.

Costura	Processo de união dos cadernos do miolo através de fios de algodão ou de linho, conferindo a este maior resistência
Encadernação	Processo onde o miolo é unido à capa através de folhas de guarda
Esquadro	Alinhamento do miolo com a capa
Folha de guarda	Folha de papel, impressa ou não, geralmente de resistência superior às do miolo, usada para a união deste à capa
Formato pé-cabeça	Dimensão do livro acabado entre o pé e a cabeça
Fotolito	Filme transparente com o conteúdo a ser impresso
Grampeação	Tipo de brochagem usando-se grampos para unir o miolo à capa
Impressão	Impressão em sistema <i>offset</i>
Lombada	Lado do miolo oposto àquele pelo qual o livro é aberto
Lombada quadrada	Tipo de livro no qual o miolo não passou pelo processo de arredondamento da lombada
Lombada redonda	Tipo de livro no qual o miolo passou pelo processo de arredondamento da lombada, que confere a este certa <i>curvatura</i>
Miolo	Conjunto de cadernos alceados que dará origem a um livro
Monta capas	Processo de montagem das capas usadas no processo de encadernação
Offset	Sistema de impressão baseado na repulsão recíproca entre uma substância graxa – a tinta – e água sobre a chapa de impressão
Pé	Parte inferior do livro, correspondendo à região do rodapé das páginas

Pré-impressão	Atividades destinadas à transferência do conteúdo da obra para a chapa de impressão
Refile tri-lateral	Refile simultâneo dos três lados do livro independentes da lombada
Reto	A face da frente da folha de impressão (apenas para impressão plana)
Seis Sigma	Conceito desenvolvido pela Motorola em 1986. É uma abordagem sistemática para a redução de falhas, tendo como meta chegar o mais perto possível dos “zero defeitos”. Concentra-se na prevenção de defeitos através do uso de ferramentas estatísticas.
Vinco da capa	Vinco aplicado à capa, junto à lombada, para facilitar a abertura do livro