

**RENATA PAES DE BARROS CÂMARA**

**A Influência do Arranjo Físico no Impacto Ambiental do Processo Produtivo de um Curtume, considerando os Princípios de Eco-Eficiência – Um Estudo de Caso.**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, do Departamento de Engenharia Mecânica da Universidade de São Paulo para obtenção do título de Doutor em Engenharia Mecânica.



Área de Concentração: Engenharia Mecânica  
Orientador: Prof. Dr. Eduardo Vila Gonçalves  
Filho

<p><b>Serviço de Pós-Graduação EESC/USP</b></p> <p><b>EXEMPLAR REVISADO</b></p> <p>Data de entrada no Serviço.....<u>23</u>./<u>01</u>...../<u>09</u>.....</p> <p>Ass.:.....<u>Anna</u>.....</p>
--

São Carlos  
2008

Class.	TESE ✓
Curr.	2016
Tombo	T02810
Sysno	4719399

31180112429

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

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

C172i

Câmara, Renata Paes de Barros

A influência do arranjo físico no impacto ambiental do processo produtivo de um curtume, considerando os princípios de eco-eficiência : um estudo de caso / Renata Paes de Barros Câmara ; orientador Eduardo Vila Gonçalves Filho. -- São Carlos, 2008.

Tese (Doutorado-Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica e Área de Concentração em Manufatura) -- Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, 2008.

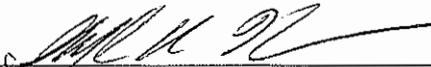
1. Arranjo físico. 2. Eco-eficiência.
3. Desenvolvimento sustentável. I. Título.

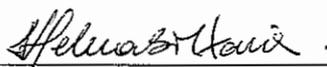
**FOLHA DE JULGAMENTO**

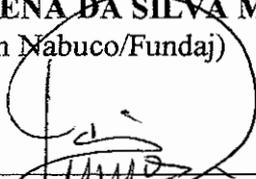
Candidata: Bacharel **RENATA PAES DE BARROS CAMARA**

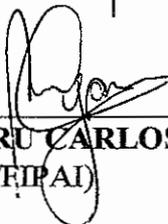
Tese defendida e julgada em 28/04/2008 perante a Comissão Julgadora:

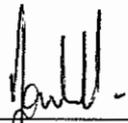
  
\_\_\_\_\_  
Prof. Titular **EDUARDO VILA GONÇALVES FILHO (Orientador)**  
(Escola de Engenharia de São Carlos/USP) APROVADA

  
\_\_\_\_\_  
Prof. Dr. **WILSON KENDY TACHIBANA**  
(Escola de Engenharia de São Carlos/USP) APROVADA

  
\_\_\_\_\_  
Dr.<sup>a</sup>. **LUCIA HELENA DA SILVA MACIEL XAVIER**  
(Fundação Joaquim Nabuco/Fundaj) APROVADA

  
\_\_\_\_\_  
Dr. **JOSÉ LUIZ MIRANDA JÚNIOR**  
(Distribuidora Cummins Diesel do Nordeste/DCDN) Aprovado

  
\_\_\_\_\_  
Dr. **MAMORU CARLOS YAMADA**  
(Pesquisador/FIPAI) Aprovado

  
\_\_\_\_\_  
Prof. Associado **JONAS DE CARVALHO**  
Coordenador do Programa de Pós-Graduação em  
Engenharia Mecânica

  
\_\_\_\_\_  
Prof. Associado **GERALDO ROBERTO MARTINS DA COSTA**  
Presidente da Comissão da Pós-Graduação da EESC

## **DEDICATÓRIA**

Dedico este trabalho a todos os alunos das Universidades brasileiras e a todos os demais interessados no desenvolvimento da vida acadêmica e a ampliação da fronteira do conhecimento.

## AGRADECIMENTOS

O esforço de uma caminhada acadêmica, de angústias, de alegrias e realizações finda na obtenção desta tese. Esta representa a concretização de uma parcela do sonho de efetivamente poder estar próximo do mundo real, do cotidiano, que às vezes torna-se distante para nós acadêmicos.

Meus agradecimentos são muitos, afinal foram tantas as pessoas que participaram desta minha caminhada, mas antes de todos e de forma muito especial a DEUS, que me concedeu o tempo e os meios para que eu conseguisse chegar ao fim deste trabalho.

A toda minha família especial ao meu marido Fernando, minhas filhas Helena e Luiza e meus Tios Vasco e Regina obrigado pelo carinho, pelo apoio e amor reservado. A todos os meus amigos participantes ativos dessa caminhada, em especial ao apoio logístico da Beth sem o qual não seria possível ter caminhado até o final.

Ao professor Dr. André Callado a professora Dra. Lucia Helena e o professor Msc. Ari Lima companheiros imprescindíveis para o avanço na fronteira do conhecimento, sem seus conselhos, suporte e encorajamento, este trabalho não teria sido possível e também de forma muito carinhosa ao Professor Paulo Rosa e a Professora Maria Barros responsáveis pela contribuição quanto à forma tão vital para a boa conclusão do trabalho. Agradeço pela confiança que depositaram em mim e pela amizade que surgiu a partir deste.

Ao meu orientador, Professor Dr. Eduardo Vila Gonçalves Filho o meu muito obrigada pela precisa orientação acadêmica, pelas indicações bibliográficas e pela lucidez de suas propostas indispensáveis.

À UFPB, pelo empenho em capacitar os seus docentes na busca da melhoria da qualidade do ensino público e gratuito. À CAPES/PICD, pelo apoio financeiro concedido a esta tese. Ao CTCC – Centro Tecnológico do Couro e do Calçado – Albano Franco que possibilitou a realização desta pesquisa.

## EPÍGRAFE

“Faça mais do que existir – viva.  
Faça mais do que tocar – sinta.  
Faça mais do que olhar – observe.  
Faça mais do que ler – absorva.  
Faça mais do que escutar – ouça.  
Faça mais do que ouvir – compreenda.”

John Rhoades

CÂMARA, R. P. B. **A Influência do Arranjo Físico no Impacto Ambiental do Processo Produtivo de um Curtume, considerando os Princípios de Eco-Eficiência – Um Estudo de Caso.** 2008. 254f. Tese (doutorado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2008.

## RESUMO

O reconhecimento pelas organizações dos impactos ambientais causados pelos seus processos produtivos e os prejuízos e perdas decorrentes destes estão fazendo com que as mesmas pensem novos paradigmas de administração, buscando o equilíbrio entre o desempenho econômico, o social e o ambiental. Nessa busca, fica evidente a necessidade de uma nova estratégia empresarial onde os elementos que buscam minimizar o impacto ambiental dos processos produtivos passem a fazer parte da estratégia das empresas, pois apenas considerando de forma intrínseca o desenvolvimento sustentável e os princípios de eco eficiência é que as empresas sobreviverão em longo prazo. O objetivo desta pesquisa foi verificar os efeitos da alteração do arranjo físico, considerando os princípios de eco eficiência, no impacto ambiental do processo produtivo, avaliando se o mesmo minimiza o impacto ambiental. O escopo proposto para esta pesquisa foi o processo produtivo do curtume escola do Centro Tecnológico do Couro e do Calçado Albano Franco, com ênfase no levantamento do arranjo físico e na obtenção dos dados mensurados com relação aos insumos sensíveis ao meio ambiente utilizados no processo e efluentes gerados. Assim como, a produtividade obtida no período de junho de 2003 a junho de 2005, e a produtividade de julho de 2005 a maio de 2007, após a alteração do arranjo físico. As variáveis investigadas foram: volume de produção; consumo de água; consumo de energia; consumo de cromo; consumo de sulfeto; consumo de sódio e de cal e os efluentes gerados após o processo com ênfase no cromo, no pH, nos sulfetos, nos DBOs e DQOs. A coleta de dados foi realizada *in loco*. Para analisar os dados e testar a significância estatística das diferenças encontradas entre os valores das diversas variáveis referentes aos insumos e aos resíduos gerados no processo produtivo investigado, considerando o arranjo físico original e o arranjo físico modificado, bem como às circunstâncias metodológicas acerca do objetivo desta pesquisa, foi utilizado o teste não-paramétrico de Mann-Whitney U. Excetuando as diferenças entre as médias referentes ao volume de produção, ao consumo de energia elétrica e a relação entre energia elétrica e o volume de produção, os valores médios referentes ao consumo de água, cromo e sulfetos no processo produtivo, bem como os valores referentes aos efluentes gerados, se mostraram em níveis menores em comparação aos valores médios referentes ao período anterior à mudança do arranjo físico. Este resultado indica que a alteração do arranjo físico de produção para o arranjo físico eco eficiente melhorou o desempenho do processo produtivo do curtume investigado, uma vez que, mantidos os níveis de produção e de consumo de energia elétrica, todos os demais indicadores considerados, sensíveis ao meio ambiente, tiveram seus valores reduzidos.

**Palavras-chave:** Arranjo Físico, Eco-eficiência, Desenvolvimento Sustentável.

CÂMARA, R. P. B. **The Influence of the Layout on the Environmental Impact of the Productive Process of a Tannery, considering the Principles of Eco-Efficiency – A Case Study.** 2008. 254f. Thesis (doctorate) - São Carlos Engineering School, São Paulo University, São Carlos, 2008.

## ABSTRACT

The recognition by organizations of the environmental impact caused by their production processes and the resulting losses and wastage, are ensuring that these organizations think about new paradigms of administration in search of a balance between economic, social and environmental performance. From this search the necessity for a new business strategy where its elements look to minimize the environmental impact of the production processes, and which end up becoming part of companies' strategies is evident, as it is just by considering sustainable development and the principles of eco efficiency in an intrinsic way that companies are going to survive in the long term. The objective of this research was to verify the effects of the alteration of the layout considering the principals of eco efficiency on the environmental impact of the production process; evaluating if it really minimizes the environmental impact. The proposed scope of this research was the productive process of the Albano Franco Leather and Shoe Technological Centre Tanning School with emphasis on the survey of the layout and in the obtaining of the measured data in relation to the raw materials sensitive to the environment utilized in the process and the effluents generated. In addition to the productivity obtained in the period of June 2003 to June 2005, and the productivity from July 2005 to May 2007; after the layout alteration. The variables that were investigated were: production volume; water consumption; energy consumption; chromium consumption; sulphide consumption; sodium and lime consumption; and the effluents generated after the process with emphasis on the chromium, the pH level, the sulphides, the DBOs and the DQOs. The sample collection was took *in loco*. To analyse the data and test the statistical significance of the differences found between the values of the diverse variables referent to the raw materials and the residuals generated in the productive process investigated considering the original layout and the modified layout, as well as the methodological circumstances concerning the objective of this research, the non-parametric Mann-Whitney U test was used. Excluding the differences between the averages referent to the production volume, the electrical energy consumption and the relation between electrical energy and the production volume, the average values referent to the consumption of water, chromium and sulphides in the productive process, as well as the values referent to the effluents generated, appear in lower levels in comparison with the average values referent to the period before the change in the layout. This result indicates that the alteration of the layout of production to the eco efficient layout improved the performance of the productive process of the tannery investigated, so long as the levels of production and electrical energy consumption are maintained, and all the other considered indicators, sensitive to the environment, had their values reduced.

**Keywords:** Layout, Eco Efficiency, Sustainable Development.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 01 – Modelo de Transformação	45
Figura 02 – Exemplo de arranjo físico fixo	53
Figura 03 – Tipos de <i>arranjos físicos</i> da Tecnologia de Grupo	60
Figura 04 – Arranjo físico utilizado na Tecnologia de Grupo	60
Figura 05 – Linha-TG, tipo de arranjo físico utilizado na Tecnologia de Grupo onde cada seqüência de máquinas processa uma família de componentes	61
Figura 06 – Esquema de grupos em série	62
Figura 07 – Esquema de grupos em paralelo	62
Figura 08 – Esquemas de células independentes	62
Figura 09 – Utilização típica do tempo produtivo	64
Figura 10 – Tipos de arranjos físicos.	66
Figura 11 – Tipos de módulos	71
Figura 12 – Fluxogramas das etapas de produção geradoras de despejos líquidos	77
Figura 13 – Fluxo do processo de produção de curtume com tecnologias limpas	78
Figura 14 – Relação das empresas quanto aos mecanismos de produção	102
Figura 15 – As cinco dimensões do desenvolvimento sustentável	103
Figura 16 – Modelo de Tompkins para indústria	126
Figura 17 – Quadro representando as vantagens e limitações do arranjo físico em linha	127
Figura 18 – Laboratórios do CTCC	131
Figura 19 – Planta de Orientação aos visitantes do CTCC	139
Figura 20 – Fulão na linha de produção	139
Figura 21 – Esgotamento sanitário que vazou	139
Figura 22 – Lagoas de decantação	139
Figura 23 – Caixa d'água do curtume	140
Figura 24 – Vizinhança do curtume	140
Figura 25 – Fluxograma esquemático da fabricação de couro	144
Figura 26 – Fluxograma esquemático da fabricação de couro	145
Figura 27 – Estação de Tratamento de efluentes	147
Figura 28 – Águas residuárias do processo de curtimento nas situações a e b	149
Figura 29 – Fluxograma do processo produtivo do CTCC	152
Figura 30 – Representação do arranjo físico antigo	153
Figura 31 – Barraca de armazenagem das peles do CTCC	155
Figura 32 – Visão geral curtume	155
Figura 33 – Fulões do curtume do CTCC	155
Figura 34 – Descarnadeira do CTCC	157
Figura 35 – Produção de couro wet-blue do CTCC	159
Figura 36 – Fluxograma do processo produtivo do CTCC	161
Figura 37 – Fluxograma do processamento de couro e geração de resíduos	171
Figura 38 – Fluxograma do processo no arranjo físico eco-eficiente	178
Figura 39 – Arranjo físico eco-eficiente	179
Figura 40 – Modelo de Tompkins Eco - eficiente	197

## LISTA DE QUADROS

Quadro 01 – Modelos comparados de tipos de arranjos físicos	34
Quadro 02 – Relação entre tipos de processos produtivos e arranjos físicos	64
Quadro 03 – Eventos importantes que marcaram a evolução das preocupações ambientais	79
Quadro 04 – Alguns paradigmas do <i>Desing for X</i>	109
Quadro 05 – Processo de projeto do arranjo físico segundo Tompkins	124
Quadro 06 – Volume de banho nos processos de Remolho	161

## LISTA DE TABELAS

Tabela 01 – Relação da população com o abatimento do gado bovino	128
Tabela 02 – Demonstrativo dos insumos do curtimento de couro vacum	141
Tabela 03 – Parâmetro do efluente do CTCC	161
Tabela 04 – Levantamento in loco dos insumos utilizados no processo produtivo do couro	172
Tabela 05 – Levantamento realizado in loco quanto aos efluentes gerados no processo produtivo do couro	173
Tabela 06 – Levantamento “in loco” dos insumos utilizados no processo produtivo após a alteração do arranjo físico	183
Tabela 07 – Levantamento “in loco” dos efluentes gerados pelo processo produtivo após a alteração do arranjo físico	187
Tabela 08 – Estatística descritiva dos insumos utilizados no processo produtivo com o Arranjo Físico original	189
Tabela 09 – Estatística descritiva dos insumos utilizados no processo produtivo com o Arranjo Físico modificado	190
Tabela 10 – Tabela comparativa entre as médias obtidas antes e depois da alteração do Arranjo Físico	191
Tabela 11 – Estatística descritiva dos resíduos gerados pelo processo produtivo com o Arranjo Físico original	191
Tabela 12 – Estatística descritiva dos resíduos gerados pelo processo produtivo com o Arranjo Físico modificado.	192
Tabela 13 – Tabela comparativa entre as médias obtidas antes e depois da alteração do arranjo físico.	193
Tabela 14 – Resultado da aplicação do Teste de Mann-Whitney-U sobre as diferenças entre os insumos utilizados pelo Arranjo Físico original e os insumos utilizados pelo Arranjo Físico modificado.	193
Tabela 15 – Resultado da aplicação do Teste de Mann-Whitney-U sobre as diferenças entre os resíduos gerados pelo layout original e os resíduos gerados pelo Arranjo Físico modificado.	194

## LISTA DE ABREVIATURAS

- CETESB- Companhia de Tecnologia e Saneamento Ambiental
- DBO- Demanda Bioquímica de Oxigênio
- DQO – Demanda Química de Oxigênio
- EPA – Environment Assessment Resource Guide
- ETE – Estação de Tratamento de Efluentes
- GATT – Acordo geral sobre Tarifas e Comércio
- IBAMA - Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis
- IUCN – International Union for Conservation of Nature and Natural resources
- MMA – Ministério de Meio Ambiente, dos Recursos Hídricos e da Amazônia Legal
- SEBRAE – Serviço Brasileiro de Apoio às Micro e Pequenas Empresas
- SENAI - Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial
- SETAC - *Society of Environmental Toxicology and Chemistry*
- SLP - *Systematic Layout Planning* - Planejamento Sistemático de Arranjo físico
- STAR - sistema de tratamento de águas residuárias
- TG – Tecnologia de grupo
- UNEP – United Nations Environment Programme
- UNEP – United Nations Environmental Programme
- UNIDO – United National Industrial Development Organization
- US-EPA – Office of Pollution Prevention and Toxics, Pollution Prevention Division.
- USP – Universidade de São Paulo.
- WBCSD – World Business Council for Sustainable Development
- WCED – World Commission on Environment and Development.
- WIP - *work-in-process* – Processo de Trabalho
- WWF – World Wildlife Found

# SUMÁRIO

1	<b>INTRODUÇÃO</b> .....	16
1.1	A EVOLUÇÃO INDUSTRIAL .....	16
1.2	DEFINIÇÃO DO PROBLEMA E JUSTIFICATIVA .....	20
1.3	OBJETIVO GERAL.....	22
1.4	CONTEÚDO DA TESE.....	22
2	<b>ARRANJO FÍSICO E SUA CONTEXTUALIZAÇÃO</b> .....	24
2.1	ARRANJO FÍSICO - CONCEITOS GERAIS.....	24
2.2	IMPORTÂNCIA DO PLANEJAMENTO DO ARRANJO FÍSICO .....	27
2.3	FATORES ESTUDADOS NA ELABORAÇÃO DO ARRANJO FÍSICO.....	33
2.3.1	Material .....	34
2.3.2	Máquinas .....	34
2.3.3	Mão de Obra.....	35
2.3.4	Movimentação .....	36
2.3.5	Armazenamento .....	36
2.3.6	Serviços Auxiliares .....	37
2.3.7	Mudanças .....	37
2.3.8	Edifício .....	37
2.4	ARRANJO FÍSICO E SUA DINÂMICA .....	37
2.5	OBJETIVOS DO ARRANJO FÍSICO .....	45
2.6	PRINCÍPIOS DO ARRANJO FÍSICO .....	48
2.7	TIPOS DE ARRANJO FÍSICO.....	49
2.7.1	Arranjos Físicos Básicos .....	50
2.7.1.1	Arranjo Posicional ou por Posição Fixa - <i>Project Shop</i> .....	51
2.7.1.2	Arranjo Linear ou por Produto ( <i>flow shop</i> ).....	53
2.7.1.3	Arranjo Funcional ou por Processo ( <i>job shop</i> ).....	54
2.7.1.4	Arranjo Celular ou de Grupo.....	56
2.7.1.5	Análise dos tipos de arranjos físicos .....	62
2.7.2	Procedimentos de escolha dos Arranjos Físicos .....	63
2.7.2.1	Desenvolvimento da estratégia dos arranjos físicos.....	66
2.7.3	Novos Arranjos Físicos ou Nova Geração de Arranjos Físicos .....	67
2.8	ARRANJO FÍSICO DOS CURTUMES .....	75
3	<b>ECO-EFICIÊNCIA</b> .....	78
3.1	O SURGIMENTO DA PREOCUPAÇÃO COM O MEIO AMBIENTE .....	78
3.2	OS MOVIMENTOS EM FAVOR DO MEIO AMBIENTE.....	80
3.2.1	Relatório Brundtland .....	84
3.2.2	Agenda 21 .....	88
3.3	PRÁTICAS ECO-EFICIENTES DAS EMPRESAS PRÓ-ATIVAS.....	94
3.4	ECO-EFICIÊNCIA NAS ORGANIZAÇÕES .....	114
3.5	INTERFACES ENTRE ARRANJO FÍSICO E ECO-EFICIÊNCIA.....	118
3.6	UMA CONFIGURAÇÃO ALTERNATIVA PARA O MODELO DE TOMPKINS CONSIDERANDO A ECO-EFICIÊNCIA .....	127
4.	<b>INDÚSTRIA DE PROCESSAMENTO DE COURO NA PARAÍBA</b> .....	130
4.1	BREVE RETROSPECTIVA HISTÓRICA .....	130
4.2	EVIDENCIAÇÃO DO FOCO DA PESQUISA .....	132
5.	<b>PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS</b> .....	134
5.1	TIPOLOGIA DA PESQUISA.....	134
5.2	ESCOPO DA PESQUISA.....	136
6	<b>ESTUDO DE CASO</b> .....	143

6.1	CENÁRIO DE PESQUISA.....	143
6.2	Arranjo físico original e o processo produtivo do Curtume do CTCC.....	152
6.2.1	Descrição das etapas do processo.....	157
6.2.2	A Produção de Resíduos no Processo Industrial.....	161
6.2.3	Parâmetros Gerados no Centro Tecnológico do Couro e Calçado.....	175
6.2.4	Arranjo físico do CTCC eco-eficiente .....	177
6.2.5	Descrição das fases dos processos produtivos foco do Arranjo Físico Eco-eficiente .....	182
6.2.6	Resíduos no Arranjo Físico Eco-eficiente.....	186
6.3	ANÁLISE ESTATÍSTICA DA PRODUÇÃO E IMPACTOS AMBIENTAIS.....	189
6.3.1	Variáveis Investigadas.....	189
6.3.2	Análise Estatística dos Dados .....	190
7	<b>CONCLUSÃO</b> .....	193
	REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS .....	197

# 1 INTRODUÇÃO

## 1.1 A EVOLUÇÃO INDUSTRIAL

Desde o início dos tempos, da fixação do Homem à terra e do surgimento do conceito de propriedade, os indivíduos passaram a utilizar os recursos naturais para suprir suas necessidades de subsistência (PAIVA, 2003). A relação homem-natureza é estabelecida em função das relações e interações sociais por ele desenvolvidas a partir das condições materiais estabelecidas, seja como indivíduo ou como organização (VIEIRA et al., 2003).

Na Idade Média, o sentimento era de pessimismo com a crença da proximidade do fim do mundo. Somente a partir de 1500, com os “descobrimientos”, inaugura-se uma era de otimismo. Surge a noção de progresso como peça básica da civilização ocidental moderna, vinculado ao processo histórico do aperfeiçoamento da sociedade. Segundo Almeida (1999), nos séculos XVIII e XIX o progresso tinha um sentido evolucionista na direção do crescimento e da ampliação de conhecimentos; além das ciências referiam-se tanto às melhorias das condições de vida quanto às liberdades econômicas. Com o advento da industrialização, ocorrido inicialmente na Inglaterra, no século XVIII, novos processos produtivos foram descobertos, dentro do contexto da busca desse crescimento econômico. Paradoxalmente, na medida em que o homem foi progredindo em seu processo civilizatório, com o nascimento do capitalismo e das revoluções industriais apoiadas na ciência e na tecnologia, a sociedade foi afastando-se da natureza (MARTINS, 1999).

De acordo com Vieira et al (2003), a responsabilidade do crescimento econômico está centrada na atividade industrial. O processo de industrialização e a busca de resultados econômicos trazem em si a gênese do perigo e do risco ambiental à medida que alteram o estado de equilíbrio da natureza com suas inserções. Devido à relação do homem com a

natureza estar alicerçada em uma estrutura de exploração, onde a “mãe natureza” é dadivosa e supre todas as necessidades do homem sem pedir nada em troca, defronta-se o homem com uma situação complexa em sua ambigüidade, onde a sua relação com a natureza está baseada na exploração dos meios oferecidos pela natureza e não na conservação dos recursos, tomando como premissa a sua utilização de forma sustentável.

Conforme Carneiro et al (1993), a última década do século XX viveu na era da ficção, tendo em vista que a produção dos bens econômicos tem como base para a sua realização a utilização de recursos naturais e, sendo esses ainda percebidos como de oferta ilimitada, não necessitariam de depreciação. Entretanto, é conveniente ressaltar que os processos de produção geram subprodutos indesejáveis e os produtos, depois de consumidos, não desaparecem sem deixar vestígios, gerando sempre algum tipo de resíduo.

O desenvolvimento da sociedade moderna vem, desde sempre, atrelado aos riscos e perigos ambientais, pois a mesma tem o hábito de considerar os detritos e resíduos como uma decorrência natural do progresso (VIEIRA et al, 2003). Historicamente constata-se que o homem sempre explorou os recursos naturais do planeta, gerando resíduos, sem se preocupar com os efeitos sobre o meio ambiente (MOURA, 2000). As soluções para os problemas ambientais causados pelo homem sempre tiveram como diretriz a lei do menor esforço, ou seja, a eliminação dos seus efeitos negativos através do simples afastamento do poluente gerado, da sua diluição ou dispersão (VALLE, 1995).

Desde a Revolução Industrial no século XVIII, os processos produtivos são considerados os motores do capitalismo. Denominados de forma genérica de fábricas, esses são os responsáveis pelo desenvolvimento econômico como conhecido na atualidade, e também pela maioria dos impactos ambientais gerados e já reconhecidos. De acordo com Vieira et al (2003), o maior pressuposto do crescimento econômico é a atividade industrial. No que tange à água, as indústrias representam uma demanda significativa no consumo de

água potável. Tome-se como exemplo: a produção de uma tonelada de aço requer o emprego de cerca de 150 toneladas de água; o refino de uma tonelada de petróleo consome cerca de 180 toneladas de água e, para produzir uma tonelada de papel, são consumidas até 250 toneladas de água (VILLIERS, 2002).

Baseados na industrialização, os atuais modelos de desenvolvimento econômico ancoram-se principalmente em modelos como o capitalismo, que prima pela exaustão dos recursos naturais (RUSCHEINSKY, 2001).

Após a segunda Guerra Mundial, 1940-1945, o homem experimentou de uma forma enfática questões relacionadas à contaminação, prejuízos materiais, danos físicos e ambientais, em função do acelerado ritmo de expansão da atividade industrial. Segundo Martins (1999), foi a partir da década de 1950 que apareceu a noção de desenvolvimento, como desdobramento do crescimento. Deste modo, a dimensão exclusivamente econômica é ampliada para as dimensões sociais e culturais, e nasce o desenvolvimento expansionista como parte dessa nova ordem internacional instaurada pelos vencedores da segunda Guerra Mundial, com a criação do Banco Mundial, do Fundo Monetário Internacional e do GATT (Acordo Geral sobre Tarifas e Comércio), e com profundas contradições. Com a implementação do Plano Marshall, a perspectiva desenvolvimentista, notoriamente hegemônica no período pós-segunda guerra mundial, orientava para o crescimento econômico, permanente e baseado no consumismo de forma abusiva, como condição básica e indispensável para que as sociedades tidas como *subdesenvolvidas* superassem o “atraso” e alcançassem o “progresso”, condição já presente nas nações e sociedades consideradas *desenvolvidas*, o que fatalmente influenciou na utilização excessiva dos recursos naturais.

Alguns dos principais itens que funcionaram como alerta vermelho, quanto aos problemas de agressão ao meio ambiente, foram o efeito estufa e a diminuição da camada de ozônio, cujas conseqüências passaram a fazer parte da preocupação cotidiana das pessoas.

De acordo com Zbontar e Glavic (2000), esta situação promoveu o surgimento da preocupação da sociedade com a qualidade do ambiente. Desta forma, o conceito de limite dos recursos naturais, o avanço da ciência e o respectivo conhecimento da natureza, assim como a usurpação dos bens naturais ou a sua degradação, proporcionam uma reflexão crítica sobre o processo de desenvolvimento da sociedade (LAYRARGUES, 2000).

Paralelamente a toda essa reflexão ocorre o desenvolvimento de novos enfoques quanto ao produto, seus componentes, o mercado de atuação, clientes e fornecedores, o desenvolvimento do processo produtivo, do arranjo físico industrial, tudo em conformidade às necessidades que surgem para acompanhar os novos paradigmas de estratégia de produção nas indústrias, visando o desenvolvimento sustentável.

Diante disso, para continuar o paralelo de desenvolvimento entre produto, processo de produção e meio ambiente, passa-se a olhar de maneira nova o arranjo físico das fábricas. Nestas análises, a do processo examina o fluxo de material ou produto; a das operações examina o trabalho realizado sobre os produtos pelo trabalhador e pela máquina; e a do arranjo físico estuda o entorno da fábrica e o ambiente interno, focando a preservação do meio ambiente.

A indústria está exposta a um ambiente de extrema volatilidade, e de uma crescente gama de exigências de mercado, sociais e ambientais. Este cenário leva à necessidade da aplicação de uma nova geração de arranjos físicos que devem ser flexíveis, modulares e fáceis de serem reconfiguráveis. (BENJAAFAR; HERAGU; IRANI, 2002).

Os novos arranjos citados por Benjaafar, Heragu e Irani (2002, p. 66) são: arranjo ágil, arranjo modular e arranjo distribuído. Askin, Ciarallo e Ludgren (1999, p. 962) apresentam o arranjo holônico e o arranjo fractal, conceitos que serão aprofundados mais adiante. Além destes também há as células virtuais de manufatura, que apesar de não ser um arranjo físico em sua totalidade cumprem com as mesmas bases estruturais.

Quanto ao conceito de arranjo físico, vale frisar que, até início da década de 70, o arranjo físico era estudado de forma aleatória: não havia métodos sistemáticos de abordagem. A primeira abordagem que apresenta uma definição sobre arranjo físico data de 1971 quando REED (1971) apud VILLAR e NÓBREGA JUNIOR (2004) assim estabelece:

“La disposición de planta constituye un sistema compuesto de departamentos individuales en interacción [...] que determina en gran medida la eficiencia de la firma en el cumplimiento de sus objetivos principales.”

O arranjo físico de uma unidade produtiva pode ser entendido como a disposição física dos vários elementos ou recursos produtivos utilizados para a produção de um bem ou serviço, tais como máquinas, equipamentos, instalações e pessoal. O projeto do arranjo físico é uma das etapas críticas do processo de planejamento de uma unidade produtiva. O arranjo físico define o relacionamento físico entre as diversas atividades e determina a maneira segundo a qual os recursos transformados (materiais, informação e clientes) fluem através da operação (GONÇALVES FILHO, 2001).

Benjaafar, Heragu e Irani (2002) mostram que a indústria nos últimos tempos tem buscado uma nova geração de arranjos físicos industriais, pois as configurações clássicas de arranjo físico não reúnem as características necessárias para acompanhar os empreendimentos multi-produtos.

## 1.2 DEFINIÇÃO DO PROBLEMA E JUSTIFICATIVA

O arranjo físico influencia, de algumas formas, a otimização na utilização dos insumos e na geração de resíduos, efluentes e emissões líquidas, sólidas e gasosas. Na planta produtiva de um curtume há grande utilização do insumo água, para se ter uma idéia um curtume integrado de processo convencional que processe por dia 3.000 peles salgadas (de porte médio), consumiria, em média, aproximadamente 1.900 m<sup>3</sup> água/dia, equivalente ao consumo

diário de uma população de cerca de 10.500 habitantes, considerando-se um consumo médio de 180 litros de água/habitante/dia. O estudo do arranjo físico, sob o enfoque estratégico da eco-eficiência, na prática do desenvolvimento sustentável surgiu como uma vertente de interesse crescente na busca da minimização dos impactos ambientais.

Essa busca da minimização dos impactos ambientais tornou-se, nas últimas décadas, um objetivo premente das organizações visando sua sobrevivência a longo prazo. Os efeitos nocivos dos processos produtivos desenvolvidos pelo homem ao meio ambiente são evidentes, assim como o fato de que a utilização desenfreada dos recursos naturais é uma prática insustentável. Esse novo foco sobre os recursos naturais ficou mais evidente com a crise do petróleo, a escassez de água em várias regiões do mundo, a poluição que gera o buraco da camada de ozônio e o aquecimento global.

Nessa nova visão, o mundo industrial globalizado passou a buscar o equilíbrio entre os cenários econômico, social e ambiental, através desta busca surge a inclusão do meio ambiente no planejamento dos arranjos físicos dos processos produtivos. O planejamento estratégico das empresas passa a considerar as ferramentas de eco-eficiência e a utilizar em suas práticas os princípios do desenvolvimento sustentável, criando, desta forma, um novo paradigma de administração, onde o meio ambiente faz parte integrante da estratégia das empresas, visando uma política preventiva de preservação do meio ambiente, a manutenção do equilíbrio sócio econômico e a permanência de mercados mais exigentes, assim como a conquista de novos mercados denominados de mercados “verdes”.

Este novo cenário, de vital importância para a sobrevivência das empresas a longo prazo, levou ao estudo realizado nesta pesquisa, onde um ramo industrial de grande importância econômica: os curtumes, passam a ser objeto de estudo para que deixem de ser grandes consumidores do insumo água e também grande geradores de efluentes poluidores, passando a realizar o processo minimizando o consumo dos insumos e dos efluentes gerados.

### 1.3 OBJETIVO GERAL

O curtume é uma planta produtiva grande geradora de efluentes agressivos ao meio ambiente e também grande consumidora do insumo água, insumo este muito caro ao meio ambiente. Diante destas constatações o curtume se tornou o alvo do estudo em questão.

O objetivo deste trabalho de pesquisa é avaliar o arranjo físico de processo produtivo como eco ferramenta que minimiza o impacto ambiental, sob o enfoque da otimização na utilização dos insumos e geração de efluentes. Mais especificamente, verificar se a alteração de um arranjo físico em linha, tradicionalmente utilizado em curtumes, para um arranjo físico ainda em linha, mas considerando os princípios da eco-eficiência, contribui para a redução do impacto ambiental.

### 1.4 CONTEÚDO DA TESE

Esta tese está estruturada em sete capítulos. O Capítulo 1 apresenta uma introdução ao assunto, descreve o problema e define o objetivo do trabalho de pesquisa.

No Capítulo 2 é feita uma revisão bibliográfica sobre arranjo físico, apresentando os principais tipos de arranjo físicos utilizados nas plantas produtivas, com uma visão dos arranjos físicos tradicionais e os denominados de nova geração.

Capítulo 3 apresenta a estratégia da eco-eficiência e a prática do desenvolvimento sustentável, desde o Relatório Bruntland até a Agenda 21. Retrata também a relação entre as teorias de arranjo físico e os princípios da eco-eficiência.

A evolução histórica dos curtumes no estado da Paraíba e sua importância econômica para o mesmo é abordada no Capítulo 4. Além disso, neste capítulo é descrito o processo produtivo do curtume foco de estudo, com ênfase no grande consumo do insumo natural água e na grande geração de efluentes altamente agressores do meio ambiente.

O Capítulo 5 descreve os procedimentos metodológicos utilizados no desenvolvimento do trabalho e a teoria que embasa o mesmo.

O Capítulo 6 apresenta o estudo de caso proposto, onde houve a possibilidade da efetiva adequação do arranjo físico tradicional para o arranjo físico eco-eficiente e posterior mensuração dos resultados, com apresentação e análise dos resultados coletados durante o período de estudo, antes e após a alteração do arranjo físico.

A conclusão final relativa ao objetivo inicialmente traçado é apresentada no Capítulo 7, assim como as principais contribuições e sugestões de trabalhos posteriores.

## 2 ARRANJO FÍSICO E SUA CONTEXTUALIZAÇÃO

### 2.1 ARRANJO FÍSICO - CONCEITOS GERAIS

Layout, que traduzida é leiaute, é uma palavra de origem inglesa utilizada em várias áreas de conhecimento. Em manufatura, este termo está relacionado com a disposição dos recursos de produção na instalação industrial (GROOVER, 1987, p.27). O equivalente em português leiaute também é utilizado em muitas publicações. Assim como o termo arranjo físico também aparece com grande frequência como, por exemplo, em Torres (2001) e Zattar (2004).

O arranjo físico das áreas de trabalho surgiu com o comércio e o artesanato, a partir da execução de processos produtivos e sua crescente necessidade diante de uma população que passava a exigir do mercado mais rapidez, melhor qualidade e baixo custo. A partir do século XIX, engenheiros industriais como Taylor, Gilbreth e Gantt criaram uma série de técnicas de visualização de processos que puderam ser usados mais tarde como base para a elaboração de um melhor arranjo físico (MUTHER, 1978).

Nos últimos anos, diversas mudanças sociais, econômicas, políticas e tecnológicas vêm ocorrendo, tornando necessárias modificações nos setores produtivos. Objetivando adaptar-se a essas mudanças e comportamentos, além de atuar de forma eficaz no atual processo de globalização dos mercados, percebe-se cada vez mais a necessidade de aumentar o grau de competitividade entre empresas na disputa por clientes (IANNI, 1997). A economia e a indústria mundial sofreram grandes transformações a partir dos anos 70. Segundo Coriat (1988) *apud* Magrise (2000), antes de 1973, as capacidades globais instaladas eram inferiores à demanda global do mercado, fazendo com que as indústrias definissem produtos e preços a serem praticados.

Com a crise mundial do petróleo ocorrida em 1973, esta lógica se inverteu: a recessão fez o consumo cair drasticamente, e a capacidade global instalada tornou-se maior que a demanda.

A partir deste cenário, disputas acirradas por fatias do mercado passaram a ser realizadas constantemente. Os preços passaram a ser definidos pelo mercado, uma vez que a oferta de produtos superou a demanda. As empresas foram obrigadas a realizar estudos e pesquisas visando melhorar seus produtos e serviços, através do aumento de qualidade e da redução de seus custos de produção e de seus prazos de entrega.

A indústria nacional não sofreu este impacto nas décadas de 1970 e 1980 devido à reserva de mercado e à ausência de pressão vinda do mercado consumidor. A abertura do mercado, ocorrida no início da década de 1990, trouxe uma nova realidade à indústria brasileira: a concorrência com uma consequente redução dos níveis de faturamento, uma vez que seus produtos passaram a disputar o mercado com os produtos das empresas estrangeiras (PAIVA, 1999 *apud* WALTER, 2000).

Para que as empresas possam sobreviver dentro desse contexto de mudanças rápidas e constantes, é necessário desenvolver produtos melhores, mais baratos, mais seguros, de entrega mais rápida, de manutenção mais fácil e sem defeitos. Esse processo de inovação contínua tem como referência o cliente e a concorrência, e se constitui na própria garantia de sobrevivência da empresa (CAMPOS, 1992).

Segundo Harmon e Peterson (1991), o arranjo físico e o fluxo de virtualmente todas as fábricas são imperfeitos. De acordo com esses autores, como essas imperfeições costumam não ser de pequena monta, aperfeiçoamentos no arranjo físico e fluxo de materiais nas plantas produtivas podem aumentar substancialmente a produtividade das empresas.

A crescente industrialização impulsiona o planejamento, o surgimento e a melhoria contínua de uma vasta gama de processos produtivos nas mais diversas áreas. Assim, passa-se

a dar maior atenção ao espaço ocupado pelas organizações para que, com a expansão dos processos, o mesmo possa ser utilizado da melhor maneira possível, diminuindo custos e otimizando a produção.

Para Francischini e Fegyveres (1997) “arranjo físico é definido como a disposição de máquinas, equipamentos e serviços de suporte em uma determinada área com o objetivo de minimizar o volume de transporte de materiais no fluxo produtivo de uma fábrica”.

Chiavenato (1991) entende que “arranjo físico se refere ao planejamento do espaço físico a ser ocupado e representa a disposição de máquinas e equipamentos necessários à produção dos produtos serviços da empresa.”

De acordo com Slack et al. (1997), o arranjo físico de uma operação produtiva preocupa-se com a localização física dos recursos de transformação. Colocado de forma simples, definir o arranjo físico é decidir o posicionamento das instalações, máquinas, equipamentos e pessoal na produção. Sendo assim, o arranjo físico é uma característica evidente da operação produtiva, porque determina sua forma, aparência e a maneira como os materiais, informações e clientes fluem através da operação.

O arranjo físico da fábrica não deverá compreender somente disposições ideais, mas também estratégias que definam a seqüência de cada mudança do processo e das localizações atuais para aquelas desejadas como meta. Porém, o planejamento pode se revelar um esforço inútil caso a administração não reconheça a sua importância (HARMON e PETERSON, 1991).

Segundo Monden (1984), a otimização do arranjo físico possibilita a eliminação de uma série de perdas existentes devido à movimentação e transporte de materiais e produtos, além de estimular o trabalho em equipe e facilitar o *feedback* de qualidade, gerando melhores índices de qualidade e produtividade.

Arranjo físico fabril se caracteriza pelo agrupamento de operações produtivas. Seu projeto tem um significativo impacto na performance dos sistemas de manufatura e afeta diretamente os resultados da empresa, sendo decisivo para sua sobrevivência no mercado competitivo mundial (YANG et al., 2000; DHONDT e BENDERS, 1998).

Lee (1998) afirma que o arranjo físico pode ser a essência da produção eficiente, desde que seu projeto trate desde a localização global até as estações de trabalho, tendo como resultado um ambiente que integra pessoas, serviços, produtos, informações e tecnologia.

A execução do projeto do arranjo físico industrial deve estar alinhada às novas necessidades das empresas, criando um ambiente onde as modernas técnicas de produção possam ser implementadas, a fim de garantir o crescimento e sobrevivência do negócio.

Ao se elaborar, portanto, o arranjo físico, deve-se procurar a disposição que melhor conjugue os equipamentos com os homens e com as fases do processo ou serviços, de forma a permitir o máximo rendimento dos fatores de produção, através da menor distância, no menor tempo possível e com a menor agressão ao meio ambiente.

Atualmente o bom arranjo físico é aquele que consegue incorporar com facilidade futuras mudanças. Segundo Villar e Nóbrega Junior (2004), o bom arranjo físico deve representar os menores investimentos nas futuras instalações da indústria, com ampliações mais suaves, protegendo-as das soluções de emergência e dos riscos de modificações impensadas.

## 2.2 IMPORTÂNCIA DO PLANEJAMENTO DO ARRANJO FÍSICO

Dentro do quadro geral de uma empresa, um papel importante está reservado ao arranjo físico. Uma vez que determinar, executar o arranjo físico de uma área qualquer é planejar e integrar os caminhos dos componentes de um produto ou serviço, a fim de obter o relacionamento mais eficiente e econômico entre o pessoal, equipamentos, materiais que se

movimentam e o meio ambiente. Como dito por Slack et al. (1997) de uma forma simples, definir o arranjo físico é decidir onde colocar todas as instalações, máquinas, equipamentos e pessoal da produção, considerando os impactos ao meio ambiente, atendendo a legislação e observando as normas vigentes.

O tempo despendido no planejamento do arranjo físico antes de sua implantação evita perdas e permite que todas as modificações interajam entre si, estabelecendo uma seqüência lógica para as mudanças, além de facilitá-las (MUTHER, 1978).

Os estudos de arranjo físico são ideais como ferramenta para elaborar uma disposição ótima dos meios de produção, a partir da análise da maneira como homens, máquinas e equipamentos estão dispostos dentro da área fabril.

O Planejamento Sistemático de Arranjo Físico (SLP - *Systematic Layout Planning*) é uma metodologia idealizada para habilitar os estudos de arranjo físico. O SLP é estruturado em fases, seguindo um modelo de procedimentos e de convenções para identificação, visualização, classificação das várias atividades, inter-relações e alternativas envolvidas em todo o arranjo físico. O SLP tem por objetivo a redução no custo, decorrente de um aumento na eficiência e produtividade, obtido através da melhor utilização do espaço disponível, redução na movimentação de materiais, produtos e pessoal, fluxo racional e melhores condições de trabalho (MUTHER e WHEELER, 2000). Assim, nota-se que a utilização do SLP combate perdas produtivas e incrementa a competitividade da empresa.

O plano efetivo de SLP – Planejamento Sistemático de Arranjo físico deverá auxiliar empresas a encontrarem respostas rápidas, quando surgir a necessidade de executar alterações na planta fabril.

Conforme Yang et. al. (2000), o SLP é um procedimento que visa identificar, dentre as opções de arranjo físico, a que mais se adapte às necessidades estabelecidas pela empresa. Sendo assim, é uma ferramenta de apoio à tomada de decisões.

Os responsáveis pelo planejamento do arranjo físico começam a desenvolver o SLP compreendendo as necessidades do cliente, a fim de definir as metas de curto, médio e longo prazo da corporação, considerando a escala dos seus produtos e serviços. Também são consideradas suas limitações, oportunidades e como essas mudanças podem afetar a corporação (GLAGOLA, 2002).

A decisão de uma empresa por optar em desenvolver e implementar um sistema de planejamento de arranjo físico pode proporcionar produtos capazes de atender, com melhores processos e operações, as necessidades da empresa e do cliente.

O arranjo físico e o sistema de manuseio do material devem ser desenvolvidos simultaneamente. No entanto, devido à complexidade dos projetos, geralmente é utilizado um processo seqüencial, sendo recomendado que se desenvolvam alternativas de arranjo físico para cada tipo de situação (TOMPKINS et al., 1996).

A alteração do arranjo físico tem implicações práticas no sistema produtivo, podendo afetar uma organização. Por exemplo, a alteração pode atender as prioridades competitivas por facilitar o fluxo de materiais e de informações, aumentar a eficiência da utilização de mão-de-obra e dos equipamentos, aumentar a conveniência dos clientes e vendas, reduzir os riscos dos trabalhadores, melhorar o moral dos trabalhadores e a comunicação entre as áreas envolvidas no sistema produtivo (KOSTROW, 1996).

Segundo Krajewski e Ritzman (1999), os planejadores de arranjo físico estão sempre visando buscar alternativas com materiais, produtos, processos, informações e pessoas, para distribuírem melhor os processos de trabalho e alcançar o desempenho ótimo da fábrica. Métodos efetivos de planejamento sistemático de arranjo físico alinham as necessidades da empresa com necessidades físicas, assegurando que as suas instalações trabalhem ativamente para apoiar os negócios da empresa. Resumindo, é uma ferramenta vital e disponível aos

líderes empresariais que buscam administrar melhor e desenvolver suas companhias (GLAGOLA, 2002).

O propósito de um estudo de arranjo físico, segundo Cedarleaf (1994), está relacionado aos benefícios que proporciona no sistema de manufatura, à planta produtiva, ao fluxo de materiais, ao custo e ao *lead time* (tempo de processo de produção).

A otimização do arranjo físico industrial possibilita uma série de melhorias no processo produtivo: eliminação das horas-homem de transporte, que normalmente representam 45% do tempo total do processo de fabricação e não agregam valor ao produto; melhoria nos índices de qualidade, devido à maior rapidez no *feedback* da informação; redução do *lead time* produtivo, que viabiliza a produção contra pedido; redução dos inventários entre processos; aumento da produtividade, devido aos operários multifuncionais; e aumento da motivação e comprometimento dos funcionários, por trabalharem diretamente em várias funções e participarem mais ativamente no resultado da empresa (SHINGO, 1996; MONDEN, 1984).

Como o planejamento toma um tempo considerável e cada projeto de arranjo físico tem um prazo de execução, deve-se estabelecer um programa que envolva a coordenação dos tempos de operação e identificação dos efeitos que essas mudanças possam apresentar em outras áreas adjacentes (MASON, 1989).

Em todo o planejamento do arranjo físico existe sempre uma preocupação básica: tornar mais fácil e uniforme o movimento do trabalho através do sistema, quer esse movimento se refira ao fluxo de pessoas ou materiais. Segundo Moreira (1996), pode-se citar, em princípio, três motivos que tornam importantes as decisões sobre o planejamento do arranjo físico:

a) podem afetar a capacidade da instalação e a produtividade das operações, ou seja, uma mudança adequada no arranjo físico pode, muitas vezes, aumentar a produção que se processa dentro da instalação usando os mesmos recursos;

b) algumas mudanças no arranjo físico podem implicar no dispêndio de consideráveis somas de dinheiro;

c) as mudanças podem gerar dificuldades para futuras reversões e ainda causar interrupções indesejáveis no trabalho.

Segundo Krajewski e Ritzman (1999), o objetivo do planejamento de arranjo físico é o de permitir que trabalhadores e equipamentos operem da maneira mais eficiente possível. O planejamento, projeto, instalação e operação dos sistemas de manufatura dependem de decisões que podem ser mais bem compreendidas com o auxílio da simulação. Essas decisões podem ser divididas em três áreas:

a) as de configuração *hard*: que analisam a capacidade do sistema pela seleção do número e tipo de máquinas a serem incluídas, a configuração física do arranjo físico e as peças a serem processadas no sistema produtivo;

b) as de configuração *soft*: que envolvem o planejamento e seqüenciamento das peças, ferramentas e trabalhadores durante um período de tempo específico;

c) e o controle em tempo real: que verifica o fluxo de trabalho dentro do sistema e as respostas a contingências, tais como falha de ferramentas, quebra de máquinas, etc.

A simulação é uma alternativa para situações onde o tamanho e a complexidade do problema exigem o uso de técnicas complexas (ACKOFF e SASIENI, 1967).

A grande meta do estudo do arranjo físico é harmonizar e integrar equipamento, mão de obra, material, áreas de movimentação, estocagem, administração enfim, todos os elementos existentes dentro de uma planta produtiva e aqueles que estão à sua volta, portanto, sofrendo impactos (OLIVÉRIO, 1985).

Na visão de Muther (1978), em alguns casos, o planejamento das instalações pode parecer uma tarefa simples, tão fácil quanto movimentar máquinas, equipamentos, mesas e armários até que se encontre a melhor disposição para os mesmos. A escolha do melhor arranjo físico seria simples, caso não fosse necessário lidar com fatores como máquinas de difícil movimentação, parada temporária de funcionamento da fábrica (administração e/ou processo produtivo) e desperdício desnecessário de tempo. Além disso, vários erros na utilização do espaço, descarte de estruturas que ainda poderiam ser utilizadas e altos custos de rearranjos são fatores que mostram claramente a importância de um planejamento prévio do novo arranjo físico a ser adotado.

Existem considerações práticas que demonstram a relevância do arranjo físico:

- O arranjo físico é uma atividade normalmente difícil e de longa duração devido às dimensões físicas dos recursos de transformação movidos.
- O re-arranjo físico de uma operação existente pode interromper seu funcionamento, causando insatisfação ou a perdas no processo produtivo.

Se o arranjo físico for realizado incorretamente, pode levar a padrões de fluxo excessivamente longos ou confusos, estoque desnecessário de materiais, filas de clientes, causar inconveniências aos clientes, grande perda de tempo no processo, operações inflexíveis, fluxos imprevisíveis resultando em alto custo. (SLACK et. al., 1997)

O estudo do arranjo físico tem discutido muito os aspectos da eficiência da utilização dos fatores produtivos sob o ponto de vista de manipulação e utilização de recursos internos utilizados pelas organizações. Com os impactos provocados pela globalização, pela flexibilidade do processo produtivo e pela tecnologia da informação, a visão sobre o arranjo físico produtivo tem contingências que impõem mudanças de abordagens (OLIVÉRIO, 1985).

Objetivando transformar as interações em atividades para poder mensurar e assim mudar o paradigma da produção em massa para a produção customizada, individualizada

onde o que antes era considerado ociosidade, hoje, através de uma mensuração efetiva, possa ser considerado o espaço que cria a viabilidade de flexibilizar o processo produtivo. Questões relacionadas com velocidade de *setup*, arranjo físico, seqüenciamento de fabricação, dentre outros, passam a ser focos relevantes para estudo quanto ao custeio para que se dimensione as vantagens e desvantagens, no sentido de caracterizar o *trade off* eficiência e eficácia. A eficácia aqui entendida como a introdução das contingências externas como condicionantes do arranjo físico escolhido.

### 2.3 FATORES ESTUDADOS NA ELABORAÇÃO DO ARRANJO FÍSICO

Ao dar início ao estudo para a elaboração de um arranjo físico, em primeira instância deve-se verificar as características de volume e variedade da operação, pois esta primeira análise vai permitir a redução de opções para uns dois tipos básicos de arranjos físicos, conforme Quadro 01. Desta forma, verifica-se que muitas vezes eles podem ser muito próximos, a escolha efetiva se dará através do estudo detalhado das vantagens e desvantagens de cada um deles, sempre levando em conta o processo que será realizado.

Decidido o tipo básico de arranjo físico a ser implementado, dá-se início à nova fase que é detalhar o projeto do arranjo físico.

Ao se elaborar um arranjo físico, os principais fatores a serem estudados são: material, máquinas, mão-de-obra, movimentação, armazenamento, edifícios, mudanças possíveis, serviços auxiliares, a legislação ambiental e as normas ambientais vigentes relacionadas ao processo produtivo e ao produto. (BORGES, 2001)

TIPO	VANTAGENS	DESVANTAGENS
Posicional	Flexibilidade de mix de produtos muito alta Produto ou cliente não movido ou perturbado Alta variedade de tarefas para a mão de obra	Custos unitários muito altos Programação de espaço ou atividades pode ser complexa Pode significar muita movimentação de equipamentos e mão de obra
Processo	Alta flexibilidade de mix de produto Relativamente robusto em caso de interrupção de etapas Supervisão de equipamentos e instalações relativamente fáceis	Baixa utilização de recursos Pode ter alto estoque em processo ou filas de clientes Fluxo complexo pode ser difícil de controlar
Celular	Pode dar um bom compromisso entre custo e flexibilidade para operações com variedade relativamente alta Atravessamento rápido Trabalho em grupo pode resultar em melhor motivação	Pode ser caro reconfigurar o arranjo físico atual Pode requerer capacidade adicional Pode reduzir níveis de utilização de recursos
Produto	Baixos custos unitários para altos volumes Dá oportunidade para especialização de equipamento Movimentação de clientes e materiais conveniente	Pode ter baixa flexibilidade de mix Não muito robusto contra interrupções Trabalho pode ser repetitivo

Quadro 01: Comparação de tipos básicos de arranjo físico

Fonte: Adaptado de Slack et al. (1997)

### 2.3.1 Material

São considerados todos os materiais que são processados e manipulados no setor: matéria-prima, material em processo, produto final, embalagem, etc. Estudam-se dimensões, pesos, quantidades, características físicas, químicas. O processo de produção deve ser detalhado, demonstrando os tipos de produto, a seqüência do processo, os tempos padrões das operações.

Deve-se procurar:

- que o fluxo do material seja de acordo com o processo;
- diminuir o manuseio dos produtos (menos riscos de acidentes);
- diminuir o percurso dos produtos e mão de obra.

### 2.3.2 Máquinas

Levam-se em conta todos os equipamentos utilizados na produção, na manutenção, em medidas e controle, no transporte e no tratamento de resíduos. Listam-se informações sobre:

- identificação do equipamento (nome, tipo, acessório);

- dimensões e peso;
- áreas necessárias para operação e manutenção;
- operadores necessários;
- suprimento de energia elétrica, gás, água, ar comprimido, vapor, etc.;
- periculosidade, ruído, calor, etc.;
- possibilidade de desmontagem das máquinas;
- ocupação prevista para a máquina;
- características operacionais: tipos de operação e velocidade.

Deverão ser estudados:

- dimensionamento da área necessária (visando diminuir acidentes, facilitar operação no posto de trabalho e movimentação do operador, segurança do operador);
- posicionamento do equipamento em função do processo, tipo de equipamento (ruído e periculosidade), fluxo dos resíduos e área de tratamento ou descarte.

### **2.3.3 Mão de Obra**

Inclui todo o pessoal direto e indireto da fábrica, observando-se as áreas necessárias para o desenvolvimento do trabalho de cada elemento. Deve-se:

- obter todas as informações sobre as condições de trabalho (iluminação, barulho, vibração, limpeza, segurança, ventilação) e do pessoal necessário (qualificação, quantidade e sexo).
- dimensionar o banheiro, vestuário, serviços auxiliares (restaurantes e/ou refeitório), bebedouros em função do número de pessoas;
- posicionar o banheiro, vestuário, etc., em função do fluxo das pessoas.

### 2.3.4 Movimentação

Este é um dos principais fatores na elaboração do arranjo físico. Deverão ser analisados:

- percurso seguido pelo material, máquinas e pessoal com as especificações das distâncias;
- tipos de transportes usados;
- manuseio (frequência, razão, esforço físico necessário, tempo utilizado);
- espaço existente para a movimentação.
- dimensionamento da largura do corredor em função dos equipamentos, meio de transporte, etc;
- segurança dos funcionários e visitantes;
- acesso aos meios de combate de incêndio, meios auxiliares, etc;
- percurso seguido pelos resíduos com as devidas medidas de segurança ambiental.

### 2.3.5 Armazenamento

Considera-se o armazenamento de todos os materiais, inclusive aqueles em processo (esperas intermediárias existentes antes de uma dada operação), nos seguintes aspectos: localização, dimensões, métodos de armazenagem, tempo de espera, cuidados especiais.

Deverão ser estudados:

- dimensionamento em função do material (em processo e final);
- dimensionamento dos corredores do depósito;
- diminuição da estocagem em processo;
- dimensionamento dos corredores do depósito;
- distância das prateleiras com paredes.

### 2.3.6 Serviços Auxiliares

Inclui os espaços destinados à manutenção, controles e inspeção, escritório (sala de espera, treinamento, conferências), laboratórios, equipamentos e linhas auxiliares (ar, vapor, gás), facilidades (restaurantes, vestiários, lavatórios, relógio ponto, estacionamento).

### 2.3.7 Mudanças

Inclui todas as modificações que afetam as condições existentes (material, máquinas, homens, manuseio, estoques, serviços e edifícios.)

### 2.3.8 Edifício

Estudam-se: área, compartimentos, estruturas, tetos, acessos, rampas, escadas, elevadores e outras características do edifício.

## 2.4 ARRANJO FÍSICO E SUA DINÂMICA

A principal área de ação do arranjo físico industrial é a empresa, definindo e integrando os elementos produtivos. Como a empresa é um organismo aberto com interferências externas, o arranjo físico se torna essencialmente dinâmico (BORGES, 2001). A rotina da própria indústria altera suas condições iniciais, da “combinação ótima”. **Produção = material + mão de obra + equipamento**. Se qualquer um dos elementos da equação sofrer uma alteração, o arranjo físico poderá sofrer alterações como consequência (OLIVÉRIO, 1985, p. 162). Ainda para Olivério (1985), as causas mais rotineiras dentro da dinâmica de uma empresa que afetam o arranjo físico são:

- Mudança no projeto do produto
- Novo produto
- Melhoria nas condições de trabalho e redução de acidentes
- Variações na demanda do produto
- Substituição do equipamento

- Mudança no processo produtivo
- Mudança do mercado de consumo
- Introdução de novos métodos de organização e controle
- Redução de custo

Segundo Tompkins et al (1996), mudanças significativas estão acontecendo no projeto de sistemas de manufatura, motivadas pelas seguintes tendências:

1. aumento do número e variedade de produtos, resultando numa queda de quantidade (tamanho do lote) conforme a diversidade aumenta;
2. custo dos materiais, incluindo movimentação de materiais e energia, parte principal do custo total dos produtos;
3. necessidade de reduzir o tempo de projeto e fabricação do produto devido às mudanças constantes no mercado; um produto pode tornar-se obsoleto mesmo antes de ser produzido;
4. aumento de solicitações para menores tolerâncias (mais exatidão e precisão produzindo melhor qualidade).

Ainda segundo a visão dos autores, essas tendências requerem os seguintes tipos de respostas em termos de sistemas de manufatura:

- a) o processo deve ser capaz de produzir produtos com qualidade superior, com custo (unitário) reduzido e entrega no prazo, em resposta às demandas dos clientes;
- b) o processo deve ser projetado para ser flexível e compreensível (mais simples e mais focado), e também mais confiável;
- c) melhorias contínuas de produtos significam reestruturação e melhorias contínuas nos sistemas de manufatura.

O planejamento do arranjo físico do setor produtivo é um fator importante para a boa efetivação dos itens citados acima. O planejamento do arranjo físico de um sistema produtivo dispõe sobre a forma como os recursos serão utilizados, a maneira de serem distribuídos, assim como a definição dos centros de trabalho. O foco básico que está presente em todo processo de projeto de arranjo físico é melhorar a movimentação do trabalho através do sistema produtivo, quer essa movimentação esteja relacionada ao fluxo de pessoas ou ao de materiais.

Os problemas de arranjo físico geralmente recaem sobre elementos básicos do processo, onde os principais são o produto e a quantidade a ser produzida. No entanto, a cada dia que passa, torna-se mais importante considerar a segurança e o impacto ao meio ambiente.

**Produto** (ou material ou serviço) - entende-se por produto o que é produzido ou feito pela empresa ou área em questão, a matéria-prima ou peças compradas, peças montadas, mercadorias acabadas e/ou serviços prestados ou processados.

**Quantidade** (ou volume) - representa o quanto de cada item deve ser produzido ou quais serviços devem ser executados.

Esses elementos, diretos ou indiretamente, são responsáveis por todas as características, fatores e condições do planejamento. É importante, portanto, coletar os fatos, estimativas e informações sobre esses dois elementos. Eles representam a chave da resolução dos problemas de arranjo físico. Em função da variedade dos produtos e da quantidade, define-se qual tipo de processo que será adotado: processo contínuo, processo em lotes ou processo por projeto.

De posse das informações sobre o produto e as quantidades a serem produzidas, deve-se obter informações sobre o *roteiro de fabricação* (ou processo) segundo o qual o produto será fabricado ou o serviço será executado, pois neste momento entra no planejamento a legislação ambiental e as normas ambientais vigentes, determinando a adequação do arranjo

físico, interferindo no roteiro ou processo, visando alterar os resultados quanto aos resíduos líquidos (efluentes) e sólidos para que os mesmos venham a causar o menor impacto possível ao meio ambiente.

Os equipamentos e os postos de trabalho a serem utilizados dependem das operações de transformação e devem estar adequados ao processo, respeitando os aspectos ambientais retratados no arranjo físico, visando inclusive o tratamento dos resíduos de alguns tipos de indústrias. Também a movimentação de materiais através das áreas depende do roteiro ou seqüência de operações. Logo, as operações envolvidas no roteiro ou processo e sua seqüência são informações que devem ser obtidas com grande detalhamento, pois, desta forma, será possível a obtenção de bons resultados quanto ao arranjo físico e o impacto ambiental causado pelo processo produtivo.

O arranjo físico é essencialmente dinâmico. A alteração de qualquer um dos elementos componentes do processo pode tornar inadequado o arranjo físico existente. Dessa forma, é importante que o setor responsável pelo arranjo físico possua um sistema de informação adequado que forneça, com a devida antecedência, as alterações a serem verificadas. Devem ser questionados, de acordo com Muther (1978), os seguintes itens para verificar se um arranjo físico necessita ou não de alterações:

**a- Obsolescência das instalações**

- Novos produtos ou novos serviços estão sendo projetados?
- Estes produtos exigirão modificações no método de trabalho, fluxo de materiais ou equipamentos empregados?
- Haverá utilização de novas áreas de estocagem?

**b- Redução dos custos de produção**

- Haverá corte de pessoal e/ou paradas de equipamentos e diminuição de movimentação de materiais?

- Haverá alteração no processo produtivo com a otimização da utilização de insumos?

**c- Variação na demanda**

- A produção atual satisfaz as estimativas de vendas?
- Os equipamentos de transporte e manuseio serão suficientes?
- O processo produtivo, no que tange ao meio ambiente, está em conformidade as exigências de mercado (selo verde)?

**d- Ambiente de trabalho inadequado**

- As condições de iluminação, ventilação e temperatura são satisfatórias?
- Pode o ruído ser isolado?
- Os locais para lavatórios são adequados?
- O roteiro do fluxo produtivo é adequado ao cumprimento da legislação ambiental?

**e- Condições inseguras**

- Existe excesso de material ao lado da máquina?
- A área é adequada para o posto de trabalho? Existência de área que comporta apenas um equipamento, onde na realidade há dois?
- Os materiais inflamáveis estão colocados em área segura?
- Existem muitos acidentes de trabalho?
- Há espaço para tráfego e operação de máquinas?
- O tipo de piso é adequado para a atividade?
- A faixa demarcatória protege o trabalhador dos meios utilizados para o manuseio de materiais?

**f- Manuseio excessivo**

- Os materiais percorrem grandes distâncias?

A intensa pressão feita por ecologistas, ONGs (Organizações Não Governamentais) e pela sociedade como um todo, atua na preservação do ecossistema, definindo parâmetros para as organizações. Os aspectos ambientais impactam, também, na definição do arranjo físico, gerando custos na sua adequação.

Ao se iniciar o processo de implantação de uma indústria, um dos problemas fundamentais a ser resolvido é a definição do local onde se instalará a indústria. A localização da indústria pode ser analisada em duas etapas: a macrolocalização e a microlocalização (BORBA, 1998). A macrolocalização é a etapa mais ampla, pois visa definir a região onde se deverá implantar a indústria, levando em consideração fatores de ordem econômica, fatores de ordem técnica, fatores de ordem ambiental, tais como fornecimento de água, energia, descarte de resíduos, e também a comunidade, que será diretamente impactada pela implantação da fábrica.

De acordo com Borba (1998), os fatores de ordem econômica são: matéria-prima, mercado, transporte e mão de obra. Do ponto de vista da área de higiene e segurança, as recomendações são:

- minimizar a probabilidade de ocorrer um acidente por manuseio e transporte;
- evitar distúrbios funcionais, intoxicações ou morte aos consumidores, no caso de serem perecíveis os produtos ou matérias-primas;
- evitar que a empresa comece a operar sem que a mão de obra receba um treinamento de Segurança e Higiene Industrial.

Ainda por definição de Borba (1998), os fatores de ordem técnica são: água, energia, resíduos, comunicação, clima, leis e impostos. Em relação a estes itens, para garantir que os agentes não atuem sobre a integridade física e psíquica do homem, aconselha-se verificar a disponibilidade atual e futura, temperatura efetiva, variações sazonais, composição química, velocidade, direção e sentido do vento, leis e isenção de impostos.

Uma vez definida a região, parte-se para a escolha do local efetivo de implantação da indústria, definindo-se, assim, sua microlocalização. Nesta etapa prevalecerão os fatores técnicos. Para tal, a fim de evitar que condições inseguras surjam a partir das próprias características do terreno, deve-se analisar uma série de fatores. As condições inseguras poderão ser provenientes de deslizamento de terra, deslizamento de pedras, riscos de inundação, dimensões insuficientes para atender as expansões futuras, não existência de água potável, não existência de meios de comunicação e de um sistema rodo-ferroviário, fluvial e aéreo, não existência de um plano atual e futuro de coleta de lixo, transporte coletivo e esgoto sanitário.

Tendo especificado o terreno, a próxima etapa, de acordo com Carneiro (2001) é definir o arranjo mais adequado de homens, equipamentos e materiais sobre uma determinada área física, dispondo esses elementos de forma a atingir os seguintes objetivos: obter um fluxo eficiente de comunicações administrativas dentro da organização; obter um fluxo de trabalho eficiente; facilitar a supervisão; reduzir a fadiga do empregado no desempenho de sua tarefa (isolar ruídos, reduzir espaços desnecessários etc.); impressionar favoravelmente clientes e visitantes; e aumentar a flexibilidade para as variações futuras necessárias. Para Borba (1998), os objetivos são minimizar os transportes, eliminar os pontos críticos da produção e suprimir as demoras desnecessárias entre várias atividades.

Diante destas colocações, deve-se também considerar os meios de evitar os procedimentos agressivos ao meio ambiente, tanto na implantação, no processo produtivo e principalmente na fase final com o tratamento adequado dos resíduos. Entra-se, assim, na fase de elaboração do arranjo físico das instalações da empresa.

A fase de efetiva elaboração do arranjo físico determina a posição relativa entre as diversas áreas, os modelos de fluxo e as inter-relações entre as diversas áreas são visualizadas,

tendo-se a noção clara do fluxo do processo produtivo, desde a entrada das matérias-primas até a saída do produto acabado, conforme demonstrado na Figura 01.

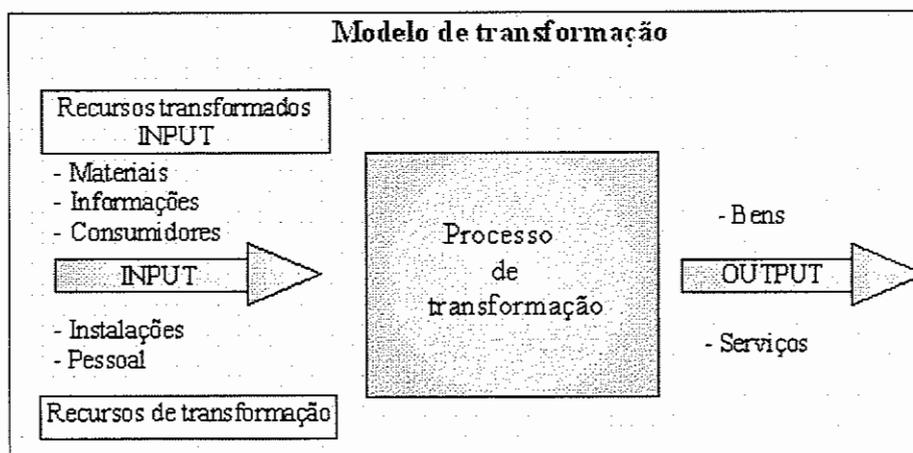


Figura 01: Modelo de Transformação  
Fonte: Olivério, 1995.

O arranjo físico é, portanto, no processo de implantação de uma planta produtiva, uma das etapas finais, e só pode ser elaborado depois de definida uma série de itens como o volume de produção, seleção do equipamento produtivo, insumos, processo de produção, resíduos e da cuidadosa verificação da legislação ambiental vigente (CHIADAMRONG e O'BRIEN, 1999).

O principal objetivo do arranjo físico é definir e integrar todos os elementos que compõem o processo produtivo. Não é somente uma disposição racional das máquinas, mas, também, o estudo das condições humanas e ambientais de trabalho (iluminação, ventilação, etc.), de corredores eficientes, de como evitar controles desnecessários, de armários e bancadas ao lado das máquinas, de qual meio de transporte vai ser utilizado para movimentação da produção, de que maneira serão descartados e onde serão descartados os resíduos provenientes do processo produtivo, visando a preservação ambiental e a melhor utilização dos insumos.

O planejamento de um arranjo físico é recomendável a qualquer empresa, grande ou pequena. Com um arranjo físico adequado, obtêm-se resultados surpreendentes na redução de custos de operação de consumo, de insumos e no aumento da produtividade e eficiência. Na implantação de uma nova empresa, esse planejamento é imprescindível. Naquelas já montadas, uma mudança no processo de produção ou fluxo do serviço, a introdução de novos produtos ou serviços, a necessidade de redução de custos, a expansão de uma seção, a adequação a legislação ambiental por questões de mercado ou para evitar sanções, entre outras, podem gerar a necessidade de uma modificação no arranjo físico. O estudo do arranjo físico pode ser feito para: fábricas em geral, escritório, lojas, supermercados, bancos, etc.

## 2.5 OBJETIVOS DO ARRANJO FÍSICO

Os objetivos dos arranjos físicos são muito sensíveis às reais circunstâncias de sua implantação, mas, de forma genérica, há alguns objetivos norteadores de todos os arranjos físicos. De acordo com Slack et al. (1997), esses objetivos genéricos, aplicáveis à maioria dos arranjos físicos, são:

- segurança inerente: qualquer possibilidade de risco deve levar a parte do arranjo físico referida para uma área restrita;
- extensão de fluxo: o fluxo deve ser realizado de forma coerente aos objetivos da operação;
- clareza de fluxo: todo fluxo deve ser bem sinalizado evitando enganos e acidentes;
- conforto da mão de obra: o ambiente de trabalho deve privar por boa ventilação, iluminação e, no todo, ser o máximo possível agradável;
- coordenação Gerencial: o processo de supervisão deve ser facilitado através de um bom acesso;

- acesso: todos os equipamentos devem ser localizados de forma a permitirem fácil manutenção e limpeza;
- uso do espaço: o espaço deve ser utilizado de forma a maximizar o resultado desejado;
- flexibilidade de longo prazo: deverão fazer parte do projeto potenciais necessidades futuras de operação.

Na visão de Oliveira (1998), os objetivos são classificados como ideais e se apresentam da seguinte forma:

- **Melhorar a utilização do espaço disponível:**
  - a) menor quantidade de material em processo;
  - b) distâncias minimizadas de movimentação de materiais, serviços e pessoas;
  - c) disposição racional das seções.
- **Aumentar a moral e a satisfação do trabalho:**
  - a) ordem no ambiente e limpeza;
  - b) sanitários.
- **Incrementar a produção:** fluxo de produção mais racional.
- **Redução de manuseio:** utilização da movimentação no processo produtivo.
- **Redução do tempo de manufatura:** reduzindo demoras e distâncias.
- **Redução dos custos indiretos:**
  - a) menos congestionamento e confusão;
  - b) menos manuseio (menor perda e danos de materiais, etc...).
- **Redução dos custos diretos:**
  - a) otimização da utilização de insumos;
  - b) adequação à legislação ambiental, evitando penalidades;

Para Mayer (1990), o objetivo do estudo de arranjo físico é que o arranjo físico permita o mais eficiente fluxo de trabalho, do ponto de vista do custo de produção. Por coincidência tal disposição melhora a qualidade, o atendimento ao cliente, a satisfação dos empregados, etc.

Conforme Harmon e Peterson (1991), um arranjo físico é desenvolvido para aumentar ou conservar a rentabilidade do investimento. Segundo Wrennall (1997), os objetivos do arranjo físico são a otimização dos rendimentos, do fluxo de material e do processo. Os mais importantes objetivos, segundo o autor são:

a) reorganizar a fábrica em sub-fábricas - com esta organização pretende-se alcançar o *status* de fabricação superior;

b) propiciar o máximo de perímetro de acesso para que a recepção e expedição de materiais, componentes e produtos se dêem o mais próximo possível de cada sub-fábrica;

c) agregar todas as áreas dedicadas a um produto ou família de produtos em torno do processo final - desta forma, os componentes e subconjuntos serão transportados através da distância mínima;

d) minimizar o tamanho da fábrica buscando reduzir os custos, desperdícios de tempo, deslocamento dos trabalhadores e de estoques;

e) minimizar as re-organizações da fábrica decorrentes de mudanças.

Os objetivos mais importantes de um arranjo físico são discutidos por Apple (1977) e Moore (1962) apud Bartlett et al. (1994). São eles: proporcionar uma simplificação geral da linha de produção; minimizar custos com o manuseio do material; manter a flexibilidade do arranjo das operações; minimizar o estoque *WIP* (*work-in-process*); promover uma efetiva utilização do espaço; eliminar investimentos de capital desnecessários; promover a conveniência, satisfação e segurança dos trabalhadores; estimular a efetiva utilização da mão-de-obra; definir rotinas de atividades visíveis; e estabelecer um fluxo unidirecional.

Conforme Muther (1978), o objetivo do estudo de arranjo físico não necessariamente precisa ser uma organização ideal, pois é impraticável reordenar a fábrica para se aproximar do potencial de produtividade ótimo da instalação, quando os custos de reordenação ultrapassam os benefícios em um grau tão elevado a ponto de demandar anos para sua implantação. Também existem outros problemas de reordenação na fábrica que incluem certas linhas de produção que requerem máquinas e equipamentos de grande porte, tidos como imóveis. Existem, nestes casos, geralmente perdas de produção, sendo quase que impraticável a sua mudança (LIKER, 1998).

## 2.6 PRINCÍPIOS DO ARRANJO FÍSICO

Para se conseguir os seus objetivos, o arranjo físico utiliza os seguintes princípios gerais, que devem ser obedecidos por todos os estudos (LIKER, 1998):

- **Integração** - Os diversos elementos (fatores diretos e indiretos ligados à produção) devem estar integrados, pois a falha em qualquer um deles resultará numa ineficiência global. Todos os pequenos pormenores da empresa devem ser estudados, colocados em posições determinadas e dimensionados de forma adequada; como por exemplo, a posição dos estoques de pele (denominada de barraca), saídas do pessoal, etc.
- **Mínima distância** - O transporte nada acrescenta ao produto ou serviço. Deve-se procurar uma maneira de reduzir ao mínimo as distâncias entre as operações para evitar esforços inúteis, confusões e custos.
- **Obediência ao fluxo das operações** - As disposições das áreas e locais de trabalho devem obedecer às exigências das operações de maneira que homens, materiais e equipamentos se movam em fluxo contínuo, organizado e de acordo com a seqüência lógica do processo de manufatura ou serviço. Devem ser evitados cruzamentos e retornos que causem interferência e congestionamentos. Eliminar obstáculos a fim de

garantir melhores fluxos de materiais e seqüência de trabalho dentro da empresa, reduzindo materiais em processo, mantendo-os em contínuo movimento.

- **Racionalização de espaço** - Utilizar a melhor maneira o espaço e, se possível, as três dimensões.
- **Satisfação e segurança** - A satisfação e a segurança do homem são muito importantes. Um melhor aspecto das áreas de trabalho promove tanto a elevação da moral do trabalhador quanto a redução de riscos de acidentes, assim como se deve observar a satisfação da comunidade onde a fábrica está instalada, preservando o impacto ao meio ambiente em todas as suas nuances.
- **Flexibilidade** - Este é um princípio que, notadamente na atual condição de avanço tecnológico, deve ser atentamente considerado pelo projetista de arranjo físico.

São freqüentes e rápidas as necessidades de mudança do projeto do produto, mudanças de métodos e sistemas de trabalho, da legislação ambiental, das exigências dos mercados consumidores. A falta de atenção a essas alterações pode levar uma empresa ao obsolescência, a perda de mercado consumidor, ao fracasso. No projeto do arranjo físico, deve-se considerar que as condições vão mudar e que o mesmo deve ser fácil de sofrer alterações para se adaptar às novas condições.

## 2.7 TIPOS DE ARRANJO FÍSICO

Black (1998 p. 46,47) descreve desta forma a evolução dos projetos de arranjo físico:

Na primeira revolução industrial as fábricas direcionaram os recursos (materiais, trabalhadores e processos) para os locais em que havia energia disponível. A energia da água era usada pela maioria, e então as primeiras fábricas se localizavam perto de riachos. A água movia rodas d'água que giravam eixos que percorriam todo o comprimento da fábrica. Correias ligadas ao eixo principal moviam cada máquina. O agrupamento de máquinas iguais que precisavam funcionar na mesma velocidade era lógico

e conveniente. Quando motores a vapor e, mais tarde, motores elétricos substituíram outros tipos de energia das máquinas, eles aumentaram grandemente a flexibilidade do sistema de produção; entretanto, a disposição funcional persistiu e ficou conhecida como *layout* funcional.

Conforme identificado na literatura pertinente, a maioria dos arranjos físicos encontrados na prática deriva de apenas quatro tipos básicos de *arranjos físicos*: arranjo físico posicional, por processo, celular e por produto (SLACK et al., 1997). Analogamente, Harmon e Peterson (1991) e Francis et al. (1992), classificam os sistemas de manufatura como: arranjo físico de posição fixa, arranjo físico funcional, arranjo físico celular e arranjo físico em linha.

Para Yang e Peters (1997), o mais comum em arranjo físico é o *re-layout*, que envolve o re-arranjo existente dos equipamentos para minimizar os custos dos fluxos de materiais, enquanto atende-se o volume de produção desejado. A necessidade de um *re-layout* em uma fábrica existente pode ser causada por uma variedade de fatores, tais como: conversão do processo para uma manufatura celular ou sistemas flexíveis; adição ou reposicionamento de equipamentos para melhoria da qualidade ou razões de segurança, e mudanças no produto ou novos produtos introduzidos na linha de produção. Devido a estes fatores, o arranjo físico deverá sempre estar atualizado para manter a eficiência do uso do espaço e dos equipamentos (LACKSONEN e HUNG, 1998).

### **2.7.1 Arranjos Físicos Básicos**

Depois que o tipo de processo for selecionado, o tipo básico de arranjo físico deve ser definido. O tipo de arranjo físico é a forma geral do arranjo de recursos produtivos da operação e é, em grande parte, determinado pelo tipo de produto, tipo de processo de produção e volume de produção.

Para Slack et al. (1997) e Gonçalves Filho (2001) existem quatro tipos básicos de arranjo físico dos quais a maioria dos arranjos se derivam:

- arranjo posicional ou por posição fixa
- arranjo funcional ou por processo
- arranjo linear ou por produto
- arranjo de grupo ou celular

#### 2.7.1.1 Arranjo Posicional ou por Posição Fixa - *Project Shop*

Segundo Slack et al. (1997), o arranjo físico posicional é, de certa forma, uma contradição em termos, já que os recursos transformados não se movem entre os recursos transformadores, mas o contrário. Em vez de materiais, informações ou clientes fluírem através de uma operação, quem sofre o processamento fica estacionário, enquanto equipamento, maquinário, instalações e pessoas movem-se de e para a área do processamento na medida do necessário.

Este tipo de arranjo físico é utilizado, por exemplo, quando os recursos a serem transformados são muito grandes e de difícil locomoção. A indústria naval utiliza este tipo de arranjo físico. Este tipo de arranjo físico também é utilizado na construção civil, pois os recursos transformados normalmente são produzidos para permanecerem em um único local indefinidamente. Exemplo: prédios, pontes, barragens, etc.

O principal problema em elaborar o arranjo físico posicional é organizar os recursos transformadores, como os equipamentos, maquinários, instalações e pessoas, em um espaço que muitas vezes é limitado. É necessário também organizar o arranjo físico de tal forma que se possa receber e armazenar suprimentos, e se movimentar até a área de execução sem interferir no trabalho das outras áreas ou pessoas (SILVEIRA, 1998). Um esquema de arranjo físico posicional pode ser observado na Figura 02, onde as letras referem-se às estações de trabalho.

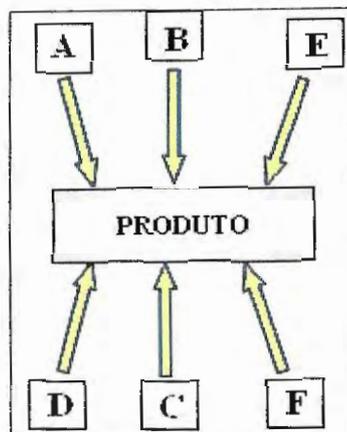


Figura 02 - Exemplo de arranjo físico fixo.  
Fonte: adaptado de Silveira, 1998.

As vantagens do arranjo físico fixo são:

- a) movimentação do material reduzido;
- b) enriquecimento do trabalho, por permitir que os indivíduos ou equipes realizem o trabalho inteiro;
- c) continuidade de operações e responsabilidade pelos resultados da equipe;
- d) altamente flexível, podendo acomodar mudanças no projeto do produto, *mix* e volume de produção. (TOMPKINS et al., 1996)

De acordo com Slack et al.(2002) e Tompkins et al. (1996), o arranjo físico posicional - fixo apresenta algumas desvantagens, sendo apresentadas as principais como:

- a) custos unitários muito altos;
- b) as programações de espaço ou atividades podem ser complexas;
- c) significativa movimentação de equipamentos e mão-de-obra;
- d) pode ocorrer duplicação de equipamentos;
- e) maiores requisitos quanto à capacidade dos funcionários;
- f) necessidade de uma supervisão geral;
- g) baixa utilização dos equipamentos.

### 2.7.1.2 Arranjo Linear ou por Produto (*flow shop*)

Numa estrutura em linha os postos de trabalho são agrupados de acordo com a seqüência de operações necessárias para produzir um produto em particular, sendo uma característica forte das montadoras de veículos no início da produção em massa (DHONDT e BENDERS, 1998).

Este tipo de arranjo físico tem disposição física voltada para o produto, e suas instalações são organizadas de acordo com a seqüência de operações do produto, normalmente a planta inteira é desenhada exclusivamente para fabricação de um produto em particular, e são necessários equipamentos especializados agrupados em uma linha contínua.

Os custos e riscos dos equipamentos e ferramentas especializadas são altos, então os mesmos precisam ser operados por longos períodos de tempo de forma que o investimento possa ser amortizado.

Mudanças desejadas no perfil do produto devem ser evitadas ou atrasadas, pois os equipamentos não são flexíveis. Normalmente os produtos são movimentados através de dispositivos como esteiras e correias, que são ajustadas para operar na velocidade mais rápida possível, independentemente das necessidades do sistema (BLACK, 1998).

Segundo Dhondt e Benders (1998), neste tipo de arranjo físico as atividades de planejamento e divisão de tarefas são centralizadas no responsável pela área. A necessidade de qualificação dos trabalhadores é limitada, devido à grande divisão de tarefas e à transferência das habilidades de produção dos operadores para as máquinas.

Segundo Martins e Laugeni (1998), o arranjo físico em linha tem uma disposição fixa orientada para o produto. Os postos de trabalho (máquinas, bancadas) são colocados na mesma seqüência de operações que o produto sofrerá. É comum existir uma máquina de cada tipo, exceto quando são necessárias máquinas em duplicata para balancear a linha de

produção. Quando o volume se torna muito grande, especialmente na linha de montagem, ele é chamado de produção em massa.

Esta é a solução ideal quando se tem apenas um produto ou produtos similares, fabricados em grande quantidade e o processo é relativamente simples. O tempo que o item gasta em cada estação ou lugar fixado é balanceado. As linhas são projetadas para operar com uma determinada demanda. Algumas empresas têm, inclusive, projetadas linhas flexíveis para montar uma variada gama de produtos.

### 2.7.1.3 Arranjo Funcional ou por Processo (*job shop*)

É o arranjo físico mais comum, caracterizado por grande variedade de componentes e máquinas de uso genérico. Neste tipo de arranjo físico, as máquinas ou postos de trabalho são agrupados segundo o tipo de operação que realizam, e as peças são movimentadas em lotes de um setor para outro (MONDEN, 1984).

Segundo Martins e Laugeni (1998), nesse tipo de arranjo físico todos os processos e equipamentos do mesmo tipo são posicionados numa mesma área e também operações e montagens semelhantes são agrupadas num mesmo local. O material se desloca buscando os diferentes processos.

Segundo Moreira (2001), como características desse sistema destacam-se:

- a) A adaptação à produção de uma linha variada de produtos ou à prestação de diversos serviços;
- b) Cada produto passa pelos centros de trabalho necessários, formando uma rede de fluxos. No caso de atividades de serviços, a movimentação é a do próprio cliente, como a que ocorre com os pacientes em um hospital ou clínica;
- c) As taxas de produção são relativamente baixas, se comparadas àquelas obtidas com o arranjo físico por produto. Desta forma, existe, entre os dois tipos de arranjo, uma troca entre flexibilidade e volume de produção;

- d) Os equipamentos são principalmente do tipo "propósito geral", ou seja, comercialmente disponíveis sem necessidade de projeto específico. Esses equipamentos são mais flexíveis que aqueles projetados para arranjo físico por produto;
- e) Em relação ao arranjo físico por produto, os custos fixos são relativamente menores, mas os custos unitários de matéria-prima e mão-de-obra são relativamente maiores.

O arranjo físico por processo proporciona ao sistema uma flexibilidade para adaptar-se a variados produtos. Além disso, esse tipo de organização do setor produtivo requer máquinas de custos menores do que num arranjo físico por produto. Finalmente, as faltas durante a produção não são tão graves para o sistema, pois as operações gozam de certa independência.

Quanto às desvantagens, Moreira (2001) destaca:

- a) Os estoques de materiais em processo tendem a ser elevados e bloquear a eficiência do sistema;
- b) A programação e controle da produção tomam-se complexas ao ter que trabalhar com variados produtos e suas exigências operacionais particulares;
- c) O manuseio de materiais tende a ser ineficiente;
- d) A contrapartida da flexibilidade é a obtenção de volumes relativamente modestos de produção, a custos unitários maiores que no caso do arranjo físico por produto.

No arranjo físico funcional, máquinas-ferramentas são agrupadas funcionalmente de acordo com o tipo geral de processo de manufatura: tornos em um departamento, furadeiras em outro, injetoras de plástico em outro e assim por diante. Ou seja, o material se movimenta através das áreas ou departamentos. Este tipo de arranjo pode ser adotado quando há variedade nos produtos e pequena demanda, como por exemplo na fabricação de tecidos e roupas, trabalho de tipografia, oficinas de manutenção.

Os equipamentos de fabricação de uso genérico ocorrem em virtude dos arranjos físicos funcionais precisarem realizar uma grande variedade de processos de manufatura. Trabalhadores devem ter nível técnico relativamente alto para realizar várias tarefas diferentes. A vantagem desse tipo de arranjo físico é a sua capacidade de fazer uma variedade de produtos. Cada peça diferente que requer sua própria seqüência de operações pode ser direcionada através dos respectivos departamentos na ordem apropriada. Os roteiros operacionais são usados para controlar os movimentos de materiais. Empilhadeiras e carrinhos manuais são utilizados para transportar materiais de uma máquina para outra.

#### 2.7.1.4 Arranjo Celular ou de Grupo

Arruda (1994) trabalha a manufatura celular como sendo uma divisão física de uma manufatura convencional mais ampla, dentro de uma produção celular. De acordo ainda com Arruda (1994), cada unidade celular tem sua projeção visando a produção eficiente de tipos comuns, ou formas de peças que tenham máquinas, processos e fixações similares. Para cada uma dessas células de organização física do setor produtivo é designado um conjunto de produtos que sofrem operações específicas.

Barbosa (1999) afirma que as células de manufatura, em comparação aos arranjos físicos funcionais, provocam o aumento de 10 a 20% na produtividade da mão-de-obra direta. Também trazem como benefício a diminuição entre 70 e 90% dos equipamentos de movimentação e manuseio dos materiais, a redução de 95% dos estoques em processo e a diminuição de 50% na área de fabricação.

Enfim, este tipo de arranjo físico é composto de células de produção e montagem interligadas por um sistema de controle de material de “puxar”. Nas células, operações e processo são agrupados de acordo com a seqüência de produção que é necessária para fazer um grupo de produtos. A célula normalmente inclui todo o processo necessário para uma peça

ou submontagem completa. Ainda segundo Barbosa (1999) os pontos-chaves desse tipo de arranjo são:

- máquinas são dispostas na seqüência do processo;
- uma peça de cada vez é feita dentro da célula;
- os trabalhadores são treinados para lidar com mais de um processo (operadores polivalentes);
- o tempo do ciclo para o sistema dita a taxa de produção para a célula;

Esta disposição de máquinas tem as seguintes vantagens potencialmente comparando-se principalmente com o arranjo físico funcional:

- redução do tempo de ajuste de máquina na mudança de lotes dentro da família, tornando-se economicamente viável a produção de pequenos lotes. Tenta-se usar o mesmo dispositivo para todas as peças da família;
- eliminação do transporte e de filas ao pé da máquina, reduzindo-se então estoques de segurança e intermediários;
- maior facilidade no Planejamento e Controle da Produção, na medida em que o problema de alocação de ordens de produção das máquinas é extremamente minimizado;
- redução de defeitos, na medida em que num arranjo celular um trabalhador pode passar a peça diretamente a outro, e se houver defeito o próprio trabalhador devolverá a peça ao companheiro;
- redução de espaço.

Segundo Standard e Davis (1999), algumas recomendações importantes sobre as células de produção são:

- Superprodução não é permitida;

- Considerar aspectos ergonômicos no momento do projeto;
- Trabalhadores se movimentam entre as estações de trabalho;
- Usar sistemas de fixar e prender ao invés de sistemas de ajustamento;
- Fazer trabalho manual em paralelo com o trabalho das máquinas;
- Nunca passar um defeito.

No que tange ao nome arranjo físico em grupo, apesar de ser muitas vezes utilizado como sinônimo do arranjo físico celular tem-se algumas particularidades a citar. O nome arranjo físico em grupo ganhou significância a partir do advento da noção da Tecnologia de Grupo (TG), pelo princípio de agrupar a fabricação de ‘famílias’ de componentes, em contraposição à fabricação agrupada por processos, característica do arranjo físico funcional, e da fabricação de componentes isolados no arranjo físico por produto. Pela definição da TG, o arranjo físico em grupo é representado por um conjunto de máquinas de diferentes tipos e funções, cujo objetivo é a possibilidade de fabricar determinados grupos de peças que mantêm características de similaridades geométricas (formas e dimensões) e de processos. Sempre que se refere à TG, a primeira noção de arranjo físico é a célula de manufatura. A célula é a forma mais usual utilizada para representar o agrupamento de uma ‘família’ de componentes, mas não a única forma.

De acordo com Miranda (1993), o arranjo físico da TG é um arranjo físico intermediário entre o sistema de produção funcional e o linear, posicionando as máquinas de forma a processarem famílias de peças com maior eficiência e economia em relação aos sistemas tradicionais, através de três sistemas básicos de arranjo entre o funcional e por produto (Figura 03): Centro-TG, Célula-TG e Linha-TG.

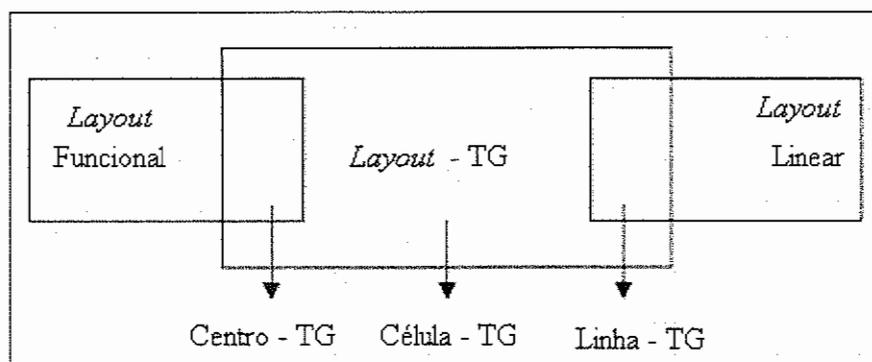


Figura 03 - Tipos de arranjos físicos da Tecnologia de Grupo.  
Fonte: Miranda 1993

O sistema Centro-TG consiste de um posto de trabalho com uma máquina que processa um conjunto de peças similares em forma e operações. O arranjo físico dar-se-á pelo agrupamento de centros diferentes processando famílias diferentes. A diferença deste tipo de arranjo em relação ao arranjo funcional é que o processamento é realizado sobre peças similares em contraposição aos processos similares, conforme exemplifica a figura 04.

O sistema Célula-TG é a forma mais conhecida de arranjo para o sistema TG. É um agrupamento de máquinas que permite o processamento seqüencial de operações de um conjunto de componentes de uma família, mesmo que os componentes tenham seqüências diferentes de operações. No próximo item as células de manufatura estão detalhadas.

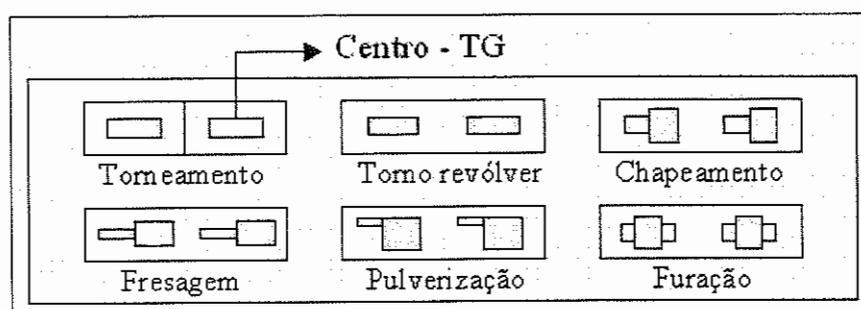


Figura 04 – Arranjo físico utilizado na Tecnologia de Grupo: Centro – TG.  
Fonte: Miranda, 1993.

O arranjo de fluxo em Linha-TG (Figura 05), de acordo com Miranda (1993), é um arranjo de máquinas em seqüência, cada uma com operações fixas, processando famílias de

componentes. A diferença deste arranjo para o arranjo linear é que na linha-TG são processadas famílias de componentes e não componentes isolados, que caracteriza a linha tradicional.

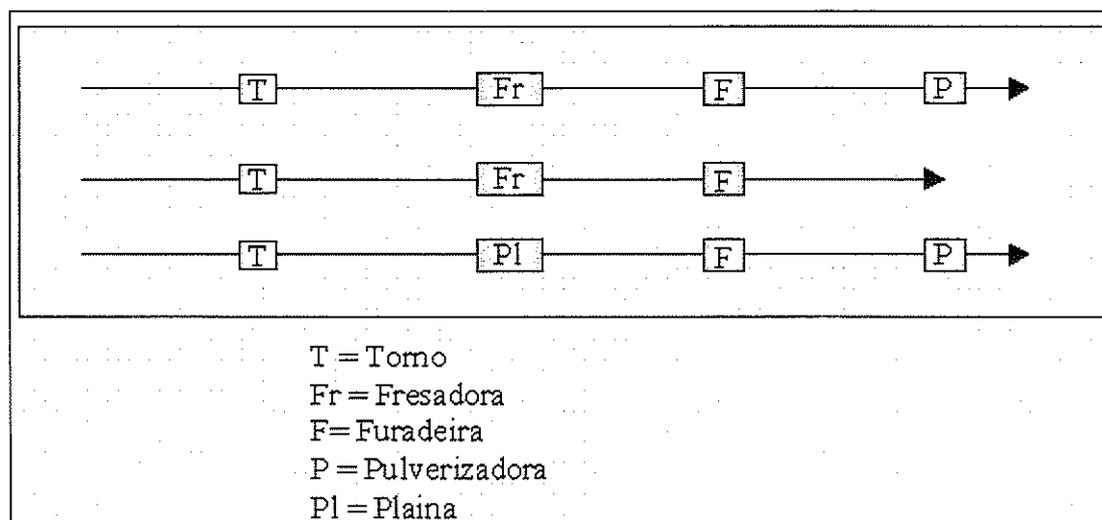


Figura 05 - Linha-TG, tipo de arranjo físico utilizado na Tecnologia de Grupo onde cada seqüência de máquinas processa uma família de componentes  
 Fonte: Miranda, 1993.

O arranjo físico em grupo surge também em decorrência do movimento de humanização do trabalho com os princípios de trabalho em grupo, da escola sociotécnica iniciada com os trabalhos de Emery e Trist (VARGAS e FLEURY, 1981). Uma das bases deste movimento era o redesenho dos sistemas de trabalhos altamente repetitivos, usualmente associados à linha de montagem, na tentativa de promover uma melhor qualidade de vida no trabalho através de enriquecimento vertical de cargos, ampliação horizontal de tarefas, rotação de tarefas e criação de grupos semi-autônomos de trabalho (VARGAS; FLEURY, 1981). Desta transição da linha de montagem para o trabalho em grupo surgiram três padrões de modelos de arranjo (GALLAGHER, 1986 apud CAMAROTTO, 1998):

1) Grupos em série, separados por estoques reguladores intermediários, para superar problemas de balanceamento (Figura 06).

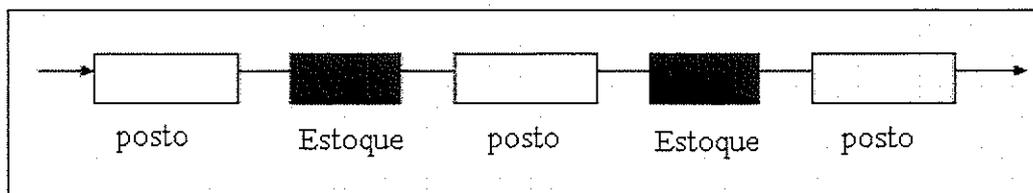


Figura 06 – Esquema de grupos em série  
Fonte: Camarotto 1998.

2) Grupos em paralelo que montam um produto completo onde a quantidade de grupos depende do volume de produção do produto (Figura 07).

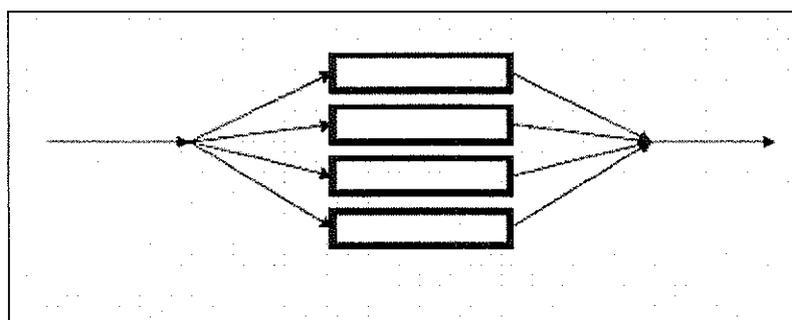


Figura 07 – Esquema de grupos em paralelo.  
Fonte: Camaroto 1998

3) Grupos independentes que realizam cada um uma sub-montagem independente para uma montagem final de um produto ou de produtos separados (Figura 08).

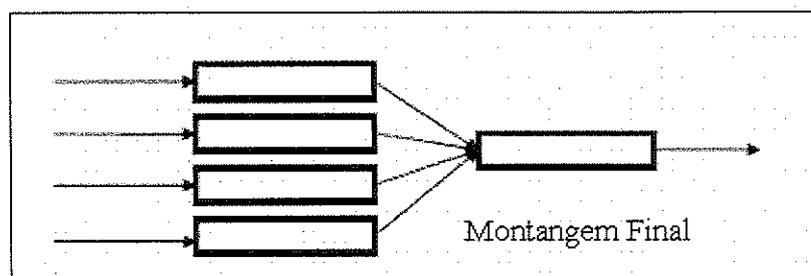


Figura 08 – Esquemas de células independentes.  
Fonte: Camarotto 1998

### 2.7.1.5 Análise dos tipos de arranjos físicos

A análise tem, em sua fase inicial, a necessidade da identificação dos tipos. Verifica-se que a estrutura funcional pode ser claramente distinguida das demais, porém é mais difícil distinguir a estrutura em linha da estrutura de células de manufatura, pois em ambas, as máquinas são agrupadas de acordo com a seqüência de operações a ser realizada.

Segundo Dhondt e Benders (1998), a diferença está na característica de seus *outputs*. As estruturas em linha produzem um número limitado de produtos (de preferência, apenas um), e têm dificuldade em responder a variações de demanda ao longo do tempo. Em contraste, as células de manufatura lidam com famílias de produtos, e com variações de demanda ao longo do tempo.

Para Kannan e Ghosh (1996), a maioria das evidências disponíveis sugere que os arranjos físicos em linha e celular têm uma *performance* menor do que o arranjo físico funcional quando o ambiente demanda flexibilidade para lidar com mudanças das condições do mercado, pois freqüentes alterações no arranjo físico das linhas e células acarretam em altos custos, devido ao tempo e recursos necessários.

Para Dhondt e Benders (1998), o arranjo físico funcional vem sendo duramente criticado devido à sua incapacidade de prover, às empresas e seus funcionários, uma estrutura que permita a produção com um baixo nível de perdas e um bom ambiente de trabalho. A figura 09 apresenta a típica utilização do tempo produtivo nesta estrutura.

As células de manufatura podem ser vistas como uma estrutura intermediária entre a estrutura funcional, uma vez que esta não oferece flexibilidade na fabricação de famílias de peças, e a estrutura em linha, uma vez que esta estrutura oferece uma coordenação simples e um fluxo de produção suave, mas não tem as suas desvantagens de monotonia, baixa multifuncionalidade e longos tempos de espera (DHONDT e BENDERS, 1998).

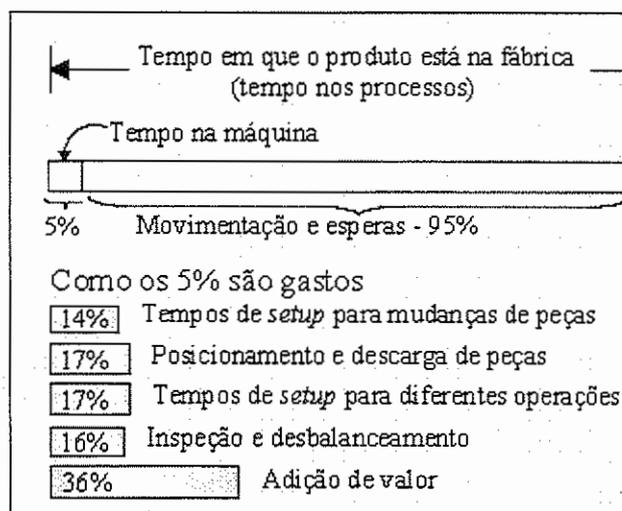


Figura 09 – Utilização típica do tempo produtivo para arranjo físico funcional.

Fonte: Black (1998).

A indústria vem convivendo há muito tempo com o problema de produzir grandes quantidades mais eficientemente num ambiente de constantes mudanças na demanda e na tecnologia. Com isso, muitas formas híbridas podem ser encontradas (KANNAN; GHOSH, 1996; DHONDT; BENDERS, 1998). Essas formas híbridas preenchem lacunas de processos sofisticados e portanto mais detalhados e com maior grau de exigência.

### 2.7.2 Procedimentos de escolha dos Arranjos Físicos

Para Slack et al. (1997) inúmeras operações se utilizam de arranjos físicos mistos, que combinam elementos de alguns ou todos os tipos básicos de arranjos físicos ou, alternativamente, usam tipos básicos de arranjos físicos de forma “pura” em diferentes partes da operação.

Conforme Silveira (1998), as características dos diferentes níveis de volume e variedade de produtos ou serviços vão reduzir a escolha de cada tipo de arranjo físico. A decisão pela escolha é influenciada por um entendimento correto das vantagens e desvantagens de cada um.

A forma de arranjo físico e as especificações dos equipamentos garantem a correta interrelação para a forma de processo no arranjo físico, sendo também requeridos conhecimentos do produto para garantir uma análise perfeita do tipo de processo (MEREDITH, 1992).

A relação entre tipos de processo e de arranjos físicos não é totalmente direta, ou seja, um tipo de processo não necessariamente implica em um arranjo físico em particular.

Como pode ser visto no quadro 02, cada tipo de processo pode adotar diferentes arranjos físicos (SLACK et al., 1997).

Tipos de processo de manufatura	Tipos básicos de arranjo físico	Tipos de processo de serviço
Processo por projeto	Arranjo físico posicional	Serviços profissionais
Processo tipo <i>jobbing</i>	Arranjo físico por processo	
Processo tipo <i>bath</i>	Arranjo físico celular	Loja de serviços
Processo em massa	Arranjo físico por produto	Serviços de massa
Processo contínuo		

Quadro 02 - Relação entre tipos de processos produtivos e arranjos físicos.  
Fonte: adaptado de Slack et al., 1997.

No entanto, os tipos de processos de manufatura indicam, cada um, uma forma diferente de organizar as atividades do processo produtivo.

Processos por projeto: são os que lidam com produtos discretos, de baixo volume e alta variedade. Neste tipo a característica básica é que cada projeto tem início e fim bem definidos, e entre o fim de um projeto e início de outro há um intervalo relativamente longo, permitindo a organização dos insumos transformadores conforme exigência do próximo projeto.

Processos de jobbing: Neste processo, os recursos da operação devem ser compartilhados para o processamento de uma série de produtos, e estes também possuem uma variedade alta e um baixo volume.

Processos em lotes ou bateladas: o processo em lote, em cada plano de produção, produz mais de um produto. Desta forma, há repetição de cada uma das partes do processo em determinados momentos. Este tipo pode ter uma gama mais ampla de níveis de volume e variedade do que outros tipos de processo.

Processos contínuos: esses processos se caracterizam por um alto volume de produção e baixa variedade de produtos. Os produtos são produzidos em um fluxos, muitas vezes ininterruptos.

Nesse mesmo contexto, segundo Silveira (1998), o volume e a variedade dos produtos estão fortemente correlacionados, determinando as características do processo a ser escolhido resultando na escolha dos arranjos físicos, sendo estes ilustrados na Figura 10. Para Francis et al. (1992), os arranjos físicos por produto são apropriados para altos volumes e baixa variedade, arranjos físicos funcionais para baixo volume e alta variedade, arranjos físicos celulares para níveis intermediários de volume e variedade e arranjos físicos fixos para baixo volume e alta variedade.

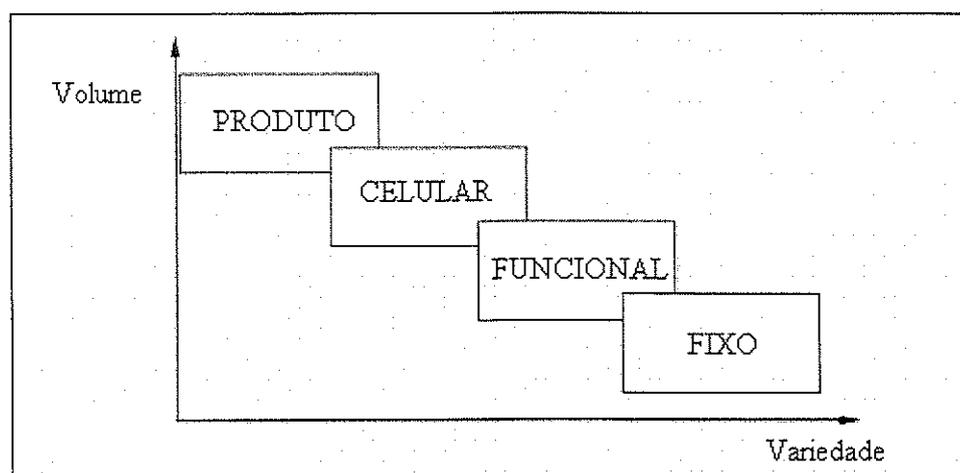


Figura 10 - Tipos de arranjos físicos.  
Fonte: adaptado de Silveira, 1998.

Deve-se analisar os produtos e os tipos de arranjos físicos que mais se adaptam a cada caso, pois a fábrica poderá não ter apenas um arranjo físico ideal, mais a combinação de dois ou mais tipos de arranjos físicos, os arranjos denominados mistos (MUTHER, 1978).

#### 2.7.2.1 Desenvolvimento da estratégia dos arranjos físicos

Para Lee (1998), a estratégia é a abordagem ou filosofia dominante que orienta o projeto do sistema de produção ou negócios. As estratégias operacionais freqüentemente determinam competitividade e o destino final de uma organização. O problema é: com base em que critérios deve-se dividir o espaço, pessoas, e máquinas em unidades gerenciáveis? Há várias respostas possíveis, como: produtos, processos, mercados, clientes, área geográfica e necessidades de suporte.

Uma fábrica focalizada em produtos agrupa as operações em departamentos que focalizam os produtos. Cada departamento deve ter todo o equipamento e as habilidades necessárias a todas as operações dos produtos lá processados. O foco no produto simplifica o controle de custos e de planejamento de produção, facilita a comunicação pessoal e a administração, pois encoraja naturalmente o trabalho em equipe e reduz o fluxo de materiais e as movimentações entre departamentos, pois as distâncias são mais curtas. Dos funcionários, é exigida uma gama mais ampla de habilidades e conhecimento, enriquecendo as funções e reduzindo a rotatividade. O foco no produto permite a redução do estoque de produtos acabados, melhorando o desempenho e a confiabilidade da entrega. Normalmente altos níveis de qualidade são atingidos, devido ao rápido *feedback*, boa comunicação, fácil coordenação e forte compromisso (LEE, 1998).

Para Womack et al. (1992), as empresas que adotam o foco no produto, alinhando todas as etapas necessárias à realização do trabalho em um fluxo estável e contínuo, sem movimentos inúteis, sem interrupções, sem lotes e sem filas, podem reduzir à metade a

quantidade de esforço humano, tempo, espaço, ferramentas e estoques necessários para projetar e fornecer um determinado serviço ou bem.

Um foco no processo permite que cada departamento se especialize num processo específico. Porém, muitas das vantagens observadas no foco do processo são ilusórias na prática.

Segundo Lee (1998), como uma operação focalizada no processo deve abordar uma variedade mais ampla de produtos, a alocação de custos indiretos é mais difícil, e os tempos de *throughput* (Tempo de *throughput* é o tempo de atravessamento, ou seja, o intervalo de tempo entre a chegada do item/produto ao setor até a saída do mesmo, considerando todos elementos do processo, inclusive as perdas) são muito prolongados, não conseguindo responder rapidamente às mudanças no mix ou volume. Por outro lado, concentra as habilidades associadas ao processo produtivo, permitindo uma qualidade superior para processos complexos e técnicos.

Desenvolver uma estratégia adequada para o planejamento da instalação significa identificar o foco mais adequado às instalações em todos os níveis. Às vezes, o foco exclusivo no produto é impraticável, então, o uso de abordagens combinadas deve ser considerado. Os projetos devem buscar o mais alto grau de foco no produto possível, usando o foco no processo, somente quando habilidades específicas e processos de larga escala o tornam necessário (LEE, 1998).

### 2.7.3 Novos Arranjos Físicos ou Nova Geração de Arranjos Físicos

Os arranjos físicos de nova geração fazem parte de uma nova classe de arranjos físicos, novos critérios de avaliação e novos modelos de *design* e solução de procedimentos (BENJAAFAR; HERAGU; IRANI, 2002).

Arranjo físico ágil não é um tipo específico de configuração de chão de fábrica. Benjaafar, Heragu e Irani (2002, p. 71) usam esta denominação quando a instalação permite freqüentes reconfigurações na disposição dos equipamentos. Quando necessário o arranjo físico é reprojeto para maximizar o desempenho operacional ao invés de minimizar o custo de movimentação de material. Porém, os autores acrescentam que captar a relação entre a configuração do arranjo físico e o desempenho operacional é muito difícil.

Outro tipo de arranjo físico da nova geração é o arranjo físico modular, definido como um pequeno grupo de máquinas que tem as características e um padrão de fluxo de material bem definido (IRANI; HUANG, 2000a), assumindo que o fluxo de material é o elo que determina o arranjo físico. O arranjo físico modular, proposto por Irani e Huang (1998), não assume *a priori* padrões de fluxo ou critérios para agrupamento de máquinas, como nos arranjos físicos celular e funcional tradicionais. Os padrões de fluxo e agrupamentos de máquinas são determinados pelos fluxos implícitos nas seqüências de operações. Dessa forma, o arranjo físico modular é mais flexível que os tradicionais (em linha, funcional e celular), pois identifica os vários padrões de fluxo existentes na fábrica e gera um arranjo físico para cada fluxo específico de materiais.

O conceito do arranjo físico modular partiu da observação de que roteiros de produção de diferentes produtos possuem subseqüências de operações comuns, que poderiam ser agregadas em módulos. Um módulo é um grupo de máquinas conectadas por um fluxo de materiais bem definido. O objetivo do arranjo físico modular é maximizar o número de operações consecutivas de um conjunto de produtos feitas no mesmo módulo. Para Gonçalves Filho (2001) e Gorgulho Junior (2006) são identificados seis tipos de módulos:

Módulo *Flowline* (Linha): Arranjo linear tal que todo movimento entre duas operações consecutivas é sempre para frente, em seqüência ou saltando máquinas (*bypass*) se necessário. Caso haja contra-fluxo, uma das decisões deve ser tomada: modificar da forma linear para

segmentos lineares com *loop* circular entre os lineares; permanecer com a forma linear, mas usar um sistema de movimentação de materiais bidirecional; ou duplicar a máquina para que não haja contra-fluxo (figura 11a).

Módulo *Flowline* Ramificado (convergente/divergente): Em um ponto a linha é dividida em ramos em paralelo, cada um específico para um tipo de produto. Caso as operações subsequentes forem comuns, os ramos voltam a convergir para uma única linha (figura 11b).

Módulo Célula: Conjunto de máquinas diferentes que juntas podem processar um produto completo, ou uma família de produtos. Não é necessário que sejam feitas operações fora do módulo célula (figura 11c). Semelhante ao arranjo físico celular tradicional.

Módulo Centro de Usinagem: Constituído por apenas uma máquina com alto grau de automação, capaz de produzir uma família de peças. Este módulo pode substituir várias máquinas, eliminando a movimentação entre as mesmas e o tempo de *setup*, características das células tradicionais (figura 11d).

Módulo Funcional: Diferentes máquinas são usadas por diferentes peças. O padrão de fluxo é aleatório. Semelhante ao arranjo físico funcional tradicional (figura 11e).

Módulo Fluxo Padronizado: Há um fluxo dominante e precedência entre as operações, definindo uma hierarquia entre elas. O módulo pode ser decomposto em módulos *flowline* ou *flowline* ramificado (figura 11f).

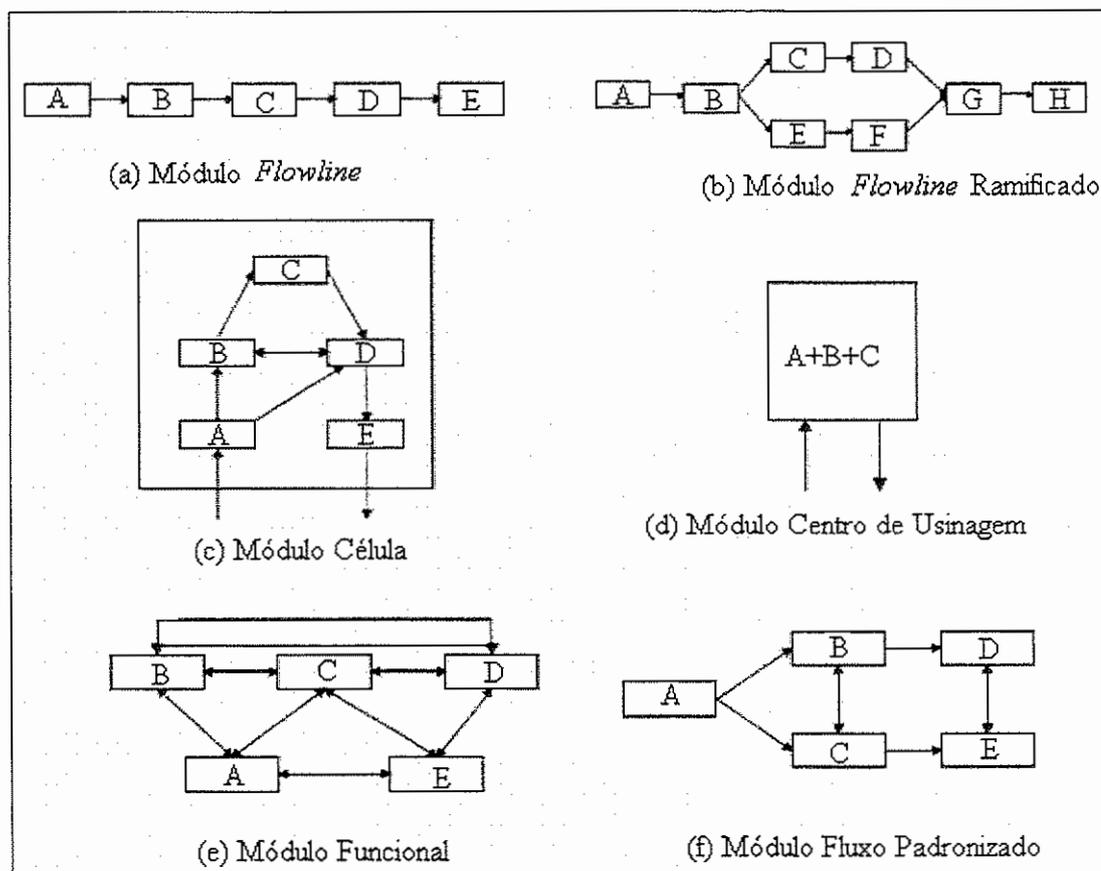


Figura 11 – Tipos de módulos  
 Fonte: Gorgulho 2006

Como exemplo de arranjo físico modular, Irani e Huang (2000b) citam uma fábrica da Motorola. A empresa desejava mudar o arranjo de uma fábrica de semicondutores de funcional para celular. Entretanto, Irani e Huang, como consultores, avaliaram que o arranjo físico celular não seria viável devido à necessidade de duplicação de equipamentos e processos. A análise e comparação dos roteiros de produção revelaram que havia muitas subsequências de operações em comum. Dessa forma, foi proposto o arranjo físico modular, que combina características dos três tipos de arranjos tradicionais, por produto, funcional e celular.

Como mais um tipo de arranjo físico classificado dentro da nova geração tem-se o Arranjo físico fractal, neste o elemento básico de formação é a célula fractal. Cada célula é constituída de máquinas colocadas próximas uma das outras em uma determinada disposição

e ela é capaz de processar a maioria, senão todos, os produtos que entram no sistema de fabricação.

Segundo Saad e Lassila (2004, p. 3530) os conceitos de manufatura fractal (*fractal manufacturing*) e fábrica fractal (*fractal factory*) foram propostos por Warnecke (1993). Uma característica das células fractais é que a proporção de cada tipo de máquina na célula é aproximadamente igual à proporção daquele tipo de máquina na fábrica. Cada célula pode ser considerada como uma mini fábrica dentro da fábrica. O fato de uma peça poder ser processada em qualquer uma das células dá a este tipo de arranjo físico uma flexibilidade não encontrada no sistema tradicional de células de manufatura. Esta é uma das grandes vantagens do arranjo físico fractal. Por outro lado, uma célula fractal contendo tipos diversos de processos e processando peças não tão similares, apresenta uma dificuldade maior de gerenciamento e um fluxo menos otimizado do que em uma célula de manufatura. (GONÇALVES FILHO, 2001)

No tipo de arranjo físico denominado fractal são criadas mini-fábricas dentro da fábrica (VENKATADRI; RARDIN; MONTREUIL, 1997).

A idéia central é fazer uma dispersão das máquinas na fábrica através de zonas, que possuem rotas de produtos dominantes. A unidade básica de organização é a célula fractal, um conjunto de máquinas (ou estações) capaz de processar a maioria dos produtos do sistema. Cada célula funciona como uma mini-fábrica multifuncional.

A possibilidade de uma peça do processo produtivo ser processada em qualquer uma das células é uma das vantagens do arranjo físico fractal. Essa vantagem traz ao arranjo físico fractal flexibilidade, o que não ocorre na manufatura celular. Além disso, o arranjo fractal não exige que as células sejam independentes. Uma peça pode passar por duas ou mais células fractais para completar seu processamento.

Constando ainda da nova geração de arranjos físicos há o arranjo físico holônico, sendo que o termo arranjo holônico (*holonic layout*) traz em si algumas divergências de conceitos entre os autores. Askin, Ciarallo e Lundgren (1999, p. 964) denominam um arranjo físico dessa forma quando as máquinas são dispostas aleatoriamente no chão de fábrica, porém, essa é a característica de um arranjo distribuído.

Baykasoglu e Gindy (2003, p. 2599) comentam que o arranjo holônico é similar ao arranjo físico distribuído. Ozcelik e Islier (2003, p.2712) consideram o arranjo físico holônico como sendo a configuração mais geral, pois os arranjos físicos por processo, celular e fractal podem ser visualizados como casos especiais dessa configuração. Nomden e Slomp (2003, p.2) destacam que o arranjo físico distribuído também é chamado de holônico, holográfico ou espalhado.

O importante é o objetivo prioritário que é organizar rotas de processamento mais eficientes, o conceito básico de otimização, para qualquer tipo de peça que o sistema produtivo deva produzir. De acordo com a chegada das ordens de processamento ao sistema, as rotas são definidas buscando as máquinas disponíveis e aptas a operação.

Importante ressaltar que na literatura encontra-se, de forma bastante ampla, o termo sistema holônico de manufatura (*holonic manufacturing system*), que não está ligado diretamente ao arranjo físico de chão de fábrica, mas sim com a integração e o relacionamento entre os elementos da produção, dando ênfase ao sistema de controle da manufatura, como fica claro nos trabalhos de Wang (2001), Wullink, Giebels e Kals (2002) e Cheng, Chang e Wu (2004).

E por fim no arranjo físico distribuído o importante é distribuir, desagregar os grandes departamentos funcionais em sub-departamentos e distribuí-los pela fábrica, essa é a idéia que rege o arranjo físico distribuído. O princípio se repete nos recursos, como máquinas e

equipamentos. A duplicação estratégica de departamentos pela fábrica permite lidar com flutuações no padrão de fluxo e no volume de produção.

Benjaafar, Heragu e Irani (2002, p. 66) demonstram que este arranjo físico é determinado pela distribuição das estações de trabalho por todo o chão de fábrica. O intento é permitir que toda a instalação seja utilizada para suportar as flutuações no volume de produção e nos padrões de fluxo de material. Os autores dizem que “os planejadores podem encontrar facilmente fluxos eficientes para uma larga faixa de volume e conjunto de produtos”.

Este tipo de arranjo físico foi feito por Montreuil e Venkatadri (1991) e foram denominados de várias formas, tais como: arranjo físico distribuído (*distributed layout*), arranjo físico disperso (*dispersed layout*) e arranjo físico espalhado (*scattered layout*). No momento seguinte, os autores Montreuil, Lefrançois e Venkatadri (1991, p.10), passam a utilizar o termo arranjo holográfico (*holographic layout*). Benjaafar e Sheikhzadeh (2000, p.318) utilizam um método completamente aleatório para distribuir máquinas no chão de fábrica e denominam o resultado como arranjo físico aleatório (*random layout*), mas comentam que os arranjos físicos obtidos com este procedimento são chamados de arranjos físicos distribuídos. Apresentam também um procedimento que visa maximizar a distribuição das máquinas de cada tipo e denominam o resultado obtido como de arranjo físico maximamente distribuído (*maximally distributed layout*).

Este arranjo físico é especialmente indicado quando a flutuação da demanda é grande e é inviável do ponto de vista de custos reconfigurar a fábrica conforme a demanda. Embora a duplicação dos departamentos aumente a flexibilidade, outros recursos como pessoal, sistemas computacionais, áreas de carga/descarga, também devem ser duplicados. Portanto, há um *trade-off* entre os benefícios da desagregação/duplicação e suas implicações, que deve ser analisado. (Benjaafar; Heragu; Irani, 2002).

Gorgulho Júnior (2006) apresenta uma revisão detalhada sobre arranjo físico distribuído, no entanto, em toda a literatura analisada pelo autor, encontrou apenas uma pesquisa realizada com dados reais, mas sem que o arranjo físico fosse operacionalizado. Diante desta constatação, Gorgulho Júnior (2006) afirma que o arranjo físico distribuído ainda encontra-se em fase de pesquisa.

Como se pode constatar, seja de que tipo for o arranjo físico é um estudo sistemático que procura uma “combinação ótima” das instalações industriais que concorrem para a produção, dentro de um espaço disponível. Sua grande meta é harmonizar e integrar equipamentos, mão de obra, materiais, áreas de movimentação, estocagem, administração enfim, todos os elementos existentes dentro de uma planta produtiva e aqueles que estão ao seu entorno (OLIVÉRIO, 1985).

O conceito de “combinação ótima” é dependente, de forma direta, do critério de medida de eficiência adotado. O que se verifica nos últimos tempos é que os focos mais rotineiros como segurança, estética, fluxo racional, entre outros, deverão ser substituídos por um foco onde as integrações com o ambiente de forma customizada e sustentável passem a ser a meta (DONAIRE, 1999).

Dentro, portanto, de uma visão holística de uma empresa, um papel muito importante está reservado ao arranjo físico, uma vez que determinar e executar o arranjo físico de uma área qualquer é planejar e integrar os caminhos dos componentes de um produto ou serviço, a fim de obter o relacionamento mais eficiente e econômico entre o pessoal, equipamentos, materiais que se movimentam e o meio ambiente.

Assim, essa visão vem de encontro ao conceito de eco-eficiência que busca uma integração harmoniosa entre a eficiência dos recursos, que leva à produtividade e lucratividade, e a responsabilidade ambiental. Com o intento de obter melhoria econômica das empresas, eliminando resíduos e usando recursos de forma mais coerente, empresas eco

eficientes podem reduzir custos e tornarem-se mais competitivas, obtendo vantagens em novos mercados, principalmente em mercados europeus (BREZET & HEMEL, 1996)

Diante deste enfoque, esta pesquisa tem como objetivo avaliar o arranjo físico de processo produtivo de um curtume como eco ferramenta que minimiza o impacto ambiental, verificando se através da alteração de um arranjo físico tradicional para um arranjo físico eco-eficiente, há a minimização do impacto ambiental gerado pela indústria de beneficiamento de couro.

## 2.8 ARRANJO FÍSICO DOS CURTUMES

Nos curtumes o arranjo físico normalmente encontrado é o linear ou por produto (flow shop) em lotes (bateladas). Este tipo de arranjo físico é todo voltado para o produto, e suas máquinas, equipamentos são organizadas de acordo com a seqüência de operações do produto, normalmente para a fabricação de um produto em particular, e são necessários equipamentos especializados agrupados em uma linha contínua.

Isso ocorre devido à necessidade da matéria prima passar por etapas consequentes do processamento do couro. Ou seja, a matéria prima se move entre os fulões a cada final de fase do processo produtivo, e depois se move entre as máquinas que concluem o curtimento. Como se trata de fases subseqüentes, o tipo de arranjo físico mais conveniente é o linear.

O quadro a seguir (figura 12) demonstra a seqüência de processos que a matéria-prima (pele animal – vacuum) segue para ser transformada em couro “wet blue”. Assim como o esquema retratado na figura 13 (<http://www.enq.ufrgs.br/ppgeq/projetos/curtumes/>) demonstra o posicionamento dos fulões.



Figura 12 – Fluxograma das Etapas de Produção Geradoras de Despejos Líquidos  
 Fonte: CTCC- Albano Franco - 2006

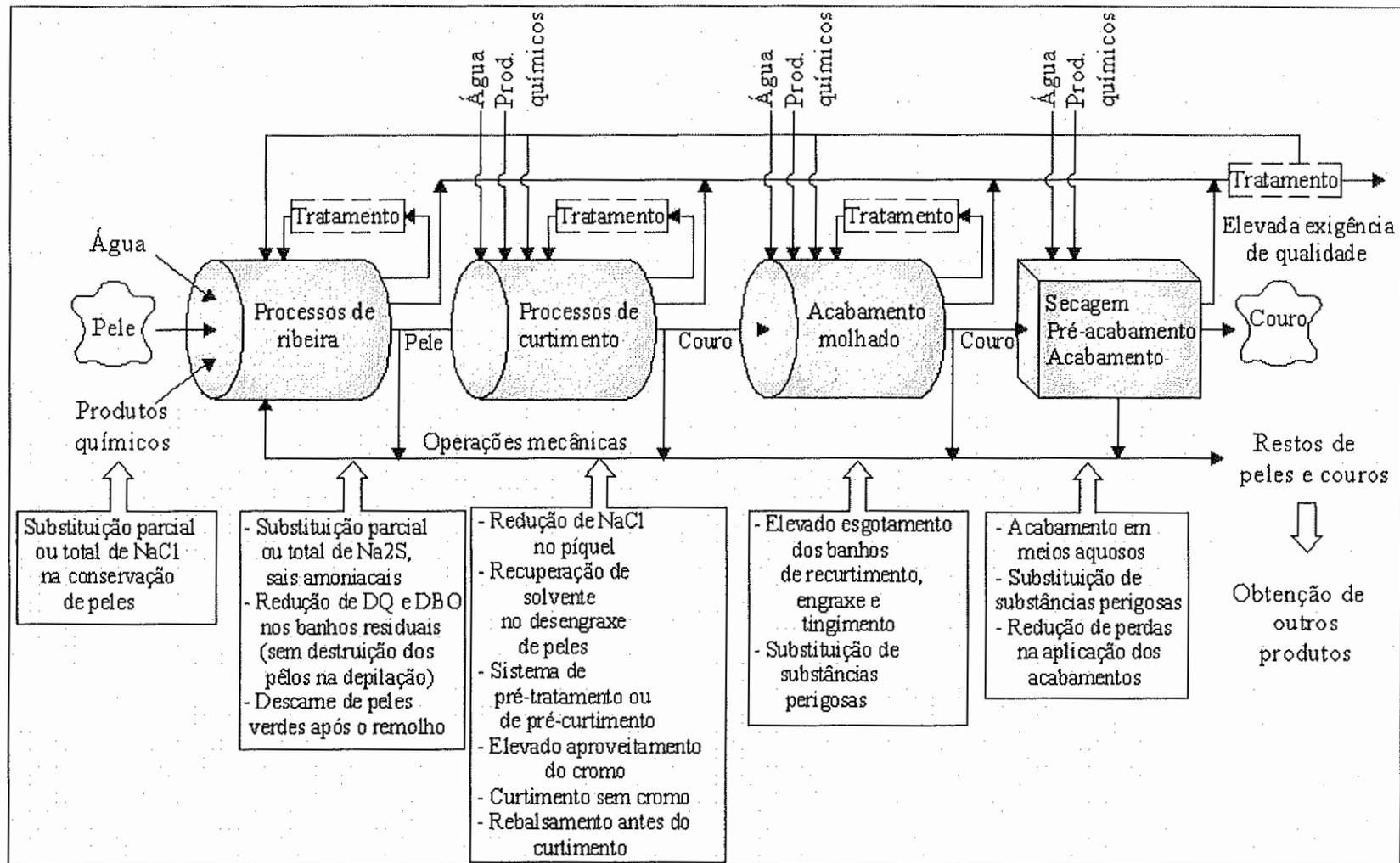


Figura 13 - Fluxo do processo de produção de curtume com tecnologias limpas.

Fonte: <http://www.enq.ufrgs.br/ppgeq/projetos/curtumes/>

### 3 ECO-EFICIÊNCIA

#### 3.1 O SURGIMENTO DA PREOCUPAÇÃO COM O MEIO AMBIENTE

A preocupação com a qualidade de vida e preservação do ambiente tornou-se, nas últimas décadas, uma necessidade social. Os efeitos nocivos do homem ao meio ambiente são tão evidentes quanto a necessidade das normas e leis para regulamentar a forma de interagir com o meio ambiente de forma a sempre minimizar seus efeitos nocivos. Backer (2002) afirma que “não existe dicotomia entre o ecossistema natural e o ecossistema industrial. A atividade industrial do homem não deve se opor à natureza, pois dela é parte integrante, ela a molda desde o começo e desde o começo é por ela moldada.”

Esta situação fica ainda mais nítida com a observação da ocorrência de importantes evidências quanto aos riscos e perigos ambientais, tais como demonstra o quadro 03.

**1959** – Baía de Minamata. Percebe-se a situação do planeta em perigo com a história de morte e deformação dos pescadores no sul do Japão devido a resíduos de mercúrio despejados por uma indústria química nas águas da baía.

**1970** – Pela primeira vez ocorre uma manifestação em defesa de causas ambientalistas, dia 22 de abril, nos Estados Unidos, reunindo 20 milhões de pessoas.

**1972** – 1ª Conferência Internacional sobre o meio ambiente em Estocolmo.

**Chipko** – “Quem ama as árvores”. Movimento de legitimação da preocupação ambiental, ocorrido na Índia.

**Movimento Verde** – Manifestação e organização civil em defesa do meio ambiente, surgido na Alemanha.

**Petróleo ao Mar** – No final da década de 70 dois acidentes ocorrem com petroleiros na Europa. O *Torrey Canyon* na costa inglesa, e o *Amoco Cadiz*, na costa francesa, sofrem acidentes despejando milhares de barris de petróleo, causando danos à fauna e flora marítimas, além de atividades pesqueiras.

**1984** – Bhopal, Índia. Explosão de fábrica da Union Carbide provocando a morte imediata de 2 mil pessoas além de deixar 20 mil pessoas cegas e com outras deficiências.

**Chernobyl** – Explosão de reator de usina nuclear na Ucrânia, antiga URSS, provocando a contaminação de rebanhos e plantações na Europa, além de levar, mais tarde, milhares de habitantes a morrerem de câncer.

**RELATÓRIO BRUNDTLAND** – O relatório da comissão Brundtland divulgado em 1987, teve dois efeitos fundamentais: mostrou que o crescimento econômico com saúde ambiental ainda é possível, e popularizou o conceito de desenvolvimento sustentável.

**ECO Rio'92** – Conferência das Nações Unidas sobre o Meio Ambiente e Desenvolvimento realizada no Rio de Janeiro.

**1997** – Conferência mundial sobre o meio ambiente, organizada pela ONU (Organização das Nações Unidas) em Kyoto no Japão. Representantes de 150 países reúnem, discutindo a redução da emissão de gases responsáveis pelo efeito estufa.

Quadro 03 – Eventos importantes que marcaram a evolução das preocupações ambientais.

Fonte: Adaptado de People's Century (1996) e Informações de Imprensa.

A disciplina e a preocupação com o meio ambiente natural não se fez presente durante muitos anos, nos quais, o crescimento das populações e das necessidades de consumo fez com que a indústria crescesse consideravelmente tanto em número quanto em área de atuação, como em variedade de produtos (PAIVA, 2003).

O atual modelo de crescimento econômico praticado continua sendo o mesmo que foi utilizado no decorrer da revolução industrial, no qual as organizações ocupam-se apenas em extrair, transformar, comercializar e descartar os recursos naturais utilizados nos processos produtivos, sem a preocupação com a preservação ou com o impacto nocivo ao meio ambiente; esta prática não é mais viável tendo em vista que muitos desses recursos estão em iminente escassez, e que o descarte aleatório prejudica as próprias fontes de recursos.

Rodriguez *et al* (2002) afirma que, nas últimas décadas, os limites físicos do nosso planeta foram duramente testados pelas práticas extrativistas adotadas pelas organizações.

A crescente exposição na mídia sobre os danos que as organizações vêm causando ao meio ambiente fez surgir a preocupação de que este não ofereça mais condições adequadas para que as empresas operem em um futuro próximo. Esta exposição, aliada à melhoria do nível educacional da sociedade e à velocidade de disseminação das informações, provocou o

surgimento de um novo mercado consumidor que, por estar mais informado e esclarecido, tornou-se mais exigente, pressionando as empresas a adotarem um modelo de atuação mais responsável.

As organizações, cientes de que o mercado consumidor é cada vez mais um bem escasso devido à enorme concorrência e também por causa da miséria de grande parte da população mundial, responsável pela exclusão de um grande contingente populacional do processo de consumo por insuficiência de renda, assumem um papel ativo na melhoria das condições sociais, compartilhando esta atuação com o governo e a sociedade. (MITCHELL, AGLE E WOOD, 1997)

Tais considerações evidenciam que as empresas não podem mais atuar como um sistema fechado, operando independentemente dos sistemas social e natural. Em busca da sobrevivência em longo prazo, torna-se necessário que elas objetivem o equilíbrio entre o desempenho econômico, o social e o ambiental. Isto implica em garantir o futuro e a geração de valor não só para a organização, mas também para seus acionistas e para toda a sociedade.

A perspectiva do desenvolvimento sustentável surge neste cenário como uma alternativa viável para a sobrevivência e o progresso das organizações ao longo do tempo. Muitas delas têm buscado, nesta nova forma de gestão, uma saída para as ameaças de escassez de recursos e de consumidores, e têm encontrado em sua adoção uma forma de se diferenciar de seus concorrentes.

### 3.2 OS MOVIMENTOS EM FAVOR DO MEIO AMBIENTE

Na década de 1960, o Clube de Roma (MEADOWS *et al.* 1972) divulgou um relatório denominado “*Os limites para o crescimento*” que, por meio de simulações matemáticas, fez projeções de crescimento populacional, poluição e esgotamento dos

recursos naturais da Terra. A partir deste momento, de forma mais sistematizada, começa-se a dar importância ao meio ambiente.

No final da década de 1960, tiveram início a reflexão e debate sobre a relação entre o meio-ambiente e o crescimento. Prevalciam, nesse momento, duas posições: a daqueles que apontavam “os limites do crescimento”, isto é, que o crescimento exponencial ilimitado era incompatível com a disponibilidade limitada dos recursos naturais. Por outro lado havia aqueles que afirmavam que a problemática ambiental foi inventada pelos países desenvolvidos para frear a ascensão do Terceiro Mundo e que, quando a renda per capita aumentasse, retornar-se-ia a discussão sobre a deterioração ambiental (AMÂNCIO, 2001, p.19).

Em 1972 foi realizada, em Estocolmo, a Conferência das Nações Unidas para o Meio Ambiente, com participação de 113 países.

Nessa Conferência evidenciou-se uma diferença entre ricos e pobres na visão do problema ambiental, os ricos achando que deveriam ser realizados controles internacionais rígidos para reduzir a poluição que atingia níveis alarmantes e os pobres não aceitando esse controle por interpretá-lo como um freio ao seu desenvolvimento (MOURA, 2000, p. 3).

Ressaltou-se também, que a maioria dos problemas ligados ao meio ambiente ocorria na escala global e se acelerava de forma exponencial. O relatório da Conferência de Estocolmo rompe com a idéia da ausência de limites para exploração dos recursos da natureza, contrapondo-se claramente à concessão dominante de crescimento contínuo da sociedade industrial (BAASCH e KIPPER, 2002).

De acordo com Paiva (2003), os países de primeiro mundo, depois de terem degradado praticamente todo o seu meio ambiente, iniciaram o processo de conscientização da necessidade de controlar os processos de industrialização, assim como, de recuperar o meio ambiente degradado, mudando, desta maneira, a visão sobre os processos através de questionamento sobre as tradicionais formas de produção, comportamento humano, organização e o funcionamento das cidades.

Conforme Baasch e Kipper (2002), foi em 1973 que surgiu o termo eco desenvolvimento pela primeira vez, tendo sido colocado como uma alternativa para a

concepção clássica de desenvolvimento. Os autores destacam ainda que consistiu de um grande avanço na concepção da problemática ambiental, tendo em vista que já se começava a observar a interdependência entre desenvolvimento e meio ambiente.

Em 1974, foi realizada em Cocoyoc, no México, importante reunião com a participação de renomados especialistas. Nessa reunião foram discutidos os “Padrões de Utilização de Recursos, Meio Ambiente e Estratégias de Desenvolvimento”.

Cocoyoc trouxe dois grandes movimentos alternativos: os que fixavam como prioridade as “necessidades básicas”, ou seja, alimentação, abastecimento de água, aquecimento, saúde, etc., em oposição ao crescimento puro e simples, e aqueles que priorizavam a questão da sustentabilidade dos recursos naturais e meio ambiente (AMÂNCIO, 2001, p. 21).

Em 1975, a fundação Dag-Hammarskiöld aperfeiçoou o documento de Cocoyoc, gerando um relatório que se concentra na questão do poder e sua relação com a degradação ambiental, destacando a importância do poder em alterar as estruturas existentes, visando um novo conceito de desenvolvimento, eco eficiente. (BAASCH e KIPPER, 2002)

Em paralelo a todos esses eventos e estudos, tem-se uma constante evolução da sociedade e permanente busca da melhoria da qualidade de vida, criando uma crescente demanda de energia, que tem nos combustíveis fósseis uma grande fonte, sendo que estes, além de não serem renováveis, provocam emissões indesejáveis para a natureza. (HOGAN, 2005).

Ainda na década de 70, especialmente com a crise do petróleo – o aumento considerável do preço do barril de petróleo pela OPEP - a sociedade passa a pensar em buscar alternativas energéticas de fontes renováveis. Surge então o trinômio **energia/sociedade/natureza** como foco prioritário da agenda internacional (GOMES, 2005).

Junto ao conceito de eco desenvolvimento passa a haver também, uma maior conscientização quanto à importância de reciclagem de materiais com a valorização energética dos resíduos (MARTINS, 1999). Moura (2000, p. 4) destaca que:

Foi também na década de 70 que surgiu o conceito de ‘Desenvolvimento Sustentável’, que admite a utilização dos recursos naturais de que temos necessidade hoje, para admitir uma boa qualidade de vida, porém sem comprometermos a utilização desses mesmos recursos pelas gerações futuras.

Agregando força à nova visão, no mesmo período, na Europa, surgiram sistemas de rotulagem, dentre eles o “selo verde” ou “selo ecológico” e o selo “Anjo Azul” (*Blauer Engel*), certificações que tiveram como objetivo identificar e destacar produtos ambientalmente corretos, que não produzem resíduos prejudiciais em seu processo produtivo. A EPA (Environmental Protection Agency) incentivou o surgimento de diversas leis e regulamentos: Lei do Ar Puro (*Clean Air Act*); Lei da Água Pura; Lei da Recuperação e Conservação de Recursos; Lei Abrangente Ambiental de Responsabilidade, Limpeza e Responsabilização (*Superfund*); Lei da Mineração e Recuperação do Solo, etc. Segundo Fornasari *et al.* (2004), foi nessa época que “a preocupação ambiental foi amplamente debatida e definitivamente integrada a estruturas gerenciais”.

Já a década de 80 foi marcada pela formalização da necessidade de realizar Estudos de Impacto Ambiental e Relatórios de Impactos sobre o meio ambiente (EIA-RIMA), com audiências públicas, aprovações em diferentes níveis de organização do Governo, entre outras para empresas potencialmente poluidoras.

Esta aparente situação confortável já trabalha com o conceito de desenvolvimento sustentável. Entretanto, essa concepção clara quanto ao desenvolvimento sustentável não foi uma conquista fácil, pelo contrário é resultado de um processo histórico de reavaliação crítica da relação existente entre a sociedade civil e seu meio natural. Por se tratar de um processo contínuo e complexo, observa-se que existe uma variedade de abordagens que procura explicar o conceito de sustentabilidade. Esta variedade pode ser mostrada pelo enorme número de definições relativas a este conceito (PORTER e VAN DER LINDE, 1995).

### 3.2.1 Relatório Brundtland

O termo desenvolvimento sustentável foi primeiramente discutido pela World Conservation Union, também chamada de International Union for the Conservation of Nature and Natural Resources (IUCN), no documento intitulado World's Conservation Strategy (IUCN/UNEP/WWF, 1980). Este documento afirma que, para que o desenvolvimento seja sustentável, devem-se considerar aspectos referentes às dimensões social, ecológica, e econômica, dos recursos vivos e não vivos, bem como as vantagens de curto e longo prazo de ações alternativas. O foco do conceito está centrado na integridade ambiental e apenas a partir da definição do Relatório Brundtland a ênfase desloca-se para o elemento humano, gerando um equilíbrio entre as dimensões *econômica, ambiental e social*.

O Relatório Brundtland, elaborado a partir da World Commission on Environment and Development (WCED), traz uma das definições mais conhecidas e usualmente utilizadas, que afirma que o desenvolvimento sustentável é aquele que atende às necessidades das gerações presentes sem comprometer a possibilidade das gerações futuras atenderem suas próprias necessidades. (WORLD COMMISSION ON ENVIRONMENT AND DEVELOPMENT, 1987)

O Relatório Brundtland, também é conhecido como “O Nosso Futuro Comum”, e alertava o mundo para a necessidade urgente de alterar o desenvolvimento econômico em direção à sustentabilidade, com um menor impacto nos recursos naturais e no ambiente. O relatório deixa claro que, sem drásticas alterações dos atuais estilos de desenvolvimento, tanto dos países industrializados como dos em desenvolvimento, a sustentabilidade tornar-se-á inviável.

O Relatório foi realizado por um grupo de políticos, cidadãos e peritos em aspectos de ambiente e desenvolvimento, presidido pela Primeira-Ministra da Noruega, Gro Harlem Brundtland.

O que mais se destaca nesse documento até a atualidade é o fato de ter fornecido uma definição chave para o conceito de desenvolvimento sustentável que, apesar de ser discutível, é efetivamente um conceito fácil de compreender: é o desenvolvimento que satisfaz as necessidades atuais sem comprometer a possibilidade das gerações futuras satisfazerem as suas necessidades.

O Relatório Brundtland destaca três dimensões fundamentais do desenvolvimento sustentável: proteção ambiental, crescimento econômico e equidade social. Essas dimensões já haviam sido citadas por estudiosos da área, como pode se verificar em outros conceitos de desenvolvimento sustentável.

Para Goldsmith (1972), uma sociedade pode ser considerada sustentável quando todos os seus propósitos e intenções podem ser atendidos indefinidamente, fornecendo ótima satisfação para seus membros.

Pronk (1992) destaca o papel do crescimento econômico na sustentabilidade. Para ele o desenvolvimento é sustentável quando o crescimento econômico traz justiça e oportunidades para todos os seres humanos do planeta, sem privilégio de algumas espécies, sem destruir os recursos naturais finitos e sem ultrapassar a capacidade de carga do sistema.

Para algumas organizações não governamentais, e para o próprio programa das Nações Unidas em Meio Ambiente e Desenvolvimento, o desenvolvimento sustentável consiste na modificação da biosfera e na aplicação de seus recursos para atender às necessidades humanas e aumentar a sua qualidade de vida (IUCN/UNEP/WWF, 1980). Observam ainda que, para assegurar a sustentabilidade do desenvolvimento, devem-se considerar os fatores social, ecológico e econômico, dentro das perspectivas de curto, médio e longo prazo.

Para Costanza (1991), o conceito de desenvolvimento sustentável deve ser inserido na relação dinâmica entre o sistema econômico humano e um sistema maior, com taxa de

mudança mais lenta, o ecológico. Para ser sustentável, esta relação deve assegurar que a vida humana possa continuar indefinidamente, com crescimento e desenvolvimento da sua cultura, observando-se que os efeitos das atividades humanas permaneçam dentro de fronteiras adequadas, de modo a não destruir a diversidade, a complexidade e as funções do sistema ecológico de suporte à vida.

Munasinghe e Mcneely (1995) resumem a sustentabilidade à obtenção de um grupo de indicadores que sejam referentes ao bem-estar e que possam ser mantidos ou que cresçam no tempo. O termo desenvolvimento sustentável pode ser visto como palavra-chave do final do século XX, sendo que existem para este conceito numerosas definições. Apesar desta grande quantidade de definições relativas ao conceito, ou talvez devido exatamente a este fato, não se sabe exatamente o que o termo significa.

Efetivamente desenvolvimento sustentável é mais conhecido, citado e aceito conforme o Relatório Brundtland (WORLD COMMISSION ON ENVIRONMENT AND DEVELOPMENT, 1987). A definição do Relatório Brundtland apresenta a questão das gerações futuras e suas possibilidades. Esta definição contém dois conceitos-chave: o conceito de necessidade, referindo-se particularmente às necessidades dos países mais subdesenvolvidos, onde se faz necessário que sejam satisfeitas às necessidades básicas da sociedade; e a idéia de limitação, imposta pelo estado da tecnologia e de organização social para atender as necessidades do presente e do futuro, que estão atreladas aos limites dos recursos naturais.

A questão da ênfase do componente social no desenvolvimento sustentável está refletida no debate que ocorre sobre a inclusão ou não de medidas sociais na definição. Este debate aparece em função da variedade de concepções de sustentabilidade que contêm componentes que não são usualmente mensurados, como o cultural e o histórico.

Os indicadores sociais são considerados especialmente difíceis de serem mensurados, pois trazem, em seu bojo, reflexos dos contextos políticos e julgamentos de valor, assumindo, desta maneira, uma enorme subjetividade. A integração de medidas é ainda mais complicada em função das diferentes e, muitas vezes, incompatíveis dimensões a que estão atreladas na suas formas. A definição do Relatório Brundtland não estabelece um estado estático, mas um processo dinâmico que pode continuar a existir sem a lógica autodestrutiva predominante. De acordo com o citado relatório e, anos mais tarde, corroborado pela Agenda 21, as diferentes forças que atuam no sistema devem estar em equilíbrio para que o sistema como um todo se mantenha no tempo. O grau de sustentabilidade é relativo, em função do campo ideológico ambiental ou da dimensão em que cada ator se coloca.

Dentro desta dinâmica, a proteção ambiental vem sendo observada sob perspectivas as mais diversas. De acordo com Valle (1995), ela passou a ser vista pelos empresários como uma necessidade, pois reduz os desperdícios com materiais e assegura uma boa imagem da empresa. A década de 1980 se encerrou com uma generalização mundial das preocupações com a preservação ambiental. Dois exemplos são o protocolo de Montreal, firmado em 1987, que bane a família de produtos químicos de cloro-flúor-carbono (CFC), e o relatório da Comissão Mundial sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento, instituída pela ONU, publicado também em 1987 com o título “Nosso futuro comum”, o qual permitiu disseminar, mundialmente, o conceito de desenvolvimento sustentável. Conforme cita Bello (1998), esse relatório apontou a pobreza como uma das principais causas e principais efeitos dos problemas ambientais do mundo e constatou que é necessário um novo tipo de desenvolvimento, capaz de manter o progresso em todo o planeta.



constam tratados em muitas áreas que afetam a relação entre o meio ambiente e a economia, como: atmosfera, energia, desertos, oceanos, água doce, tecnologia, comércio internacional, pobreza e população. O documento está dividido em quatro seções:

a) **dimensões sociais e econômicas** (trata das políticas internacionais que podem ajudar na viabilização do desenvolvimento sustentável, das estratégias de combate à pobreza e à miséria e da necessidade de introduzir mudanças nos padrões de produção e de consumo);

b) **conservação e gestão dos recursos para o desenvolvimento** (trata do manejo dos recursos naturais e dos resíduos e substâncias tóxicas);

c) **fortalecimento do papel dos principais grupos sociais** (indica as ações necessárias para promover a participação, principalmente das ONGs (organizações não governamentais));

d) **meios de implementação** (tratando dos mecanismos financeiros e dos instrumentos jurídicos para a implementação de projetos e programas com vistas ao desenvolvimento sustentável).

As 175 nações presentes aprovaram e assinaram a Agenda 21, comprometendo-se a respeitar os seus termos. Ela representa a base para a despoluição do planeta e a construção de um modelo de desenvolvimento sustentável, isto é, que não agride o ambiente e não esgote os recursos disponíveis. A Agenda 21 não é uma agenda ambiental. É uma agenda para o desenvolvimento sustentável, cujo objetivo final é a promoção de um novo modelo de desenvolvimento.

A Agenda 21 não é um documento normativo, pois não obriga as Nações signatárias, mas é um documento ético que se reduz a um compromisso por parte deles. Não é um documento técnico, mas político. Mais da metade dos países signatários já elaborou planos estratégicos de implantação da Agenda 21, em muitos casos pressionados pela sociedade civil. Ela tem se constituído muito mais numa agenda da sociedade do que dos Estados. As

Conferências Mundiais têm proporcionado grande mobilização, sobretudo da mídia. A participação ativa da sociedade civil nessas conferências mundiais, principalmente através das ONGs, tem contribuído para pressionar as Nações Unidas e os Estados a assumirem as agendas da sociedade.

A **Agenda 21** tem por objetivos (cap. 4, itens 4 e 7 *AGENDA 21 DO BRASIL - Um projeto de Nação* em seu site <http://www.ensp.fiocruz.br/publi/radis/tema18.html>):

- 1º promover padrões de consumo e produção que reduzam as pressões ambientais e atendam as necessidades básicas da humanidade;
- 2º desenvolver uma melhor compreensão do papel do consumo e da forma de se implementar padrões de consumo mais sustentáveis.

Esses objetivos visam a alcançar o desenvolvimento sustentável. A essência fundamental da Agenda 21 é que esse documento foi negociado previamente e pactuado entre as nações, mudando a forma como o tema era tratado até então. Transformou – se num **documento estratégico abrangente** – em nível planetário, nacional e local – com o fim de promover um novo padrão de desenvolvimento que pode conciliar a proteção ambiental com a justiça social e a eficiência econômica.

Para a Agenda 21, o conceito de desenvolvimento sustentável é aquele que satisfaz as necessidades do presente com equidade, sem comprometer a capacidade das gerações futuras para satisfazer as suas (equilíbrio dinâmico). (*AGENDA 21 DO BRASIL - Um projeto de Nação* em seu site <http://www.ensp.fiocruz.br/publi/radis/tema18.html>)

Apesar da questão ecológica e a eficiência na utilização dos recursos naturais serem importantes e pertinentes, não são suficientes para garantir o desenvolvimento sustentável. (HARTMAN *et al*, 1999). A conferencia realizada em Chapel Hill (USA) em 1999, acabaria por ampliar o conceito de desenvolvimento sustentável. Esta conferência salientou que o conceito de desenvolvimento sustentável é mais amplo que a simples racionalização da

utilização dos recursos naturais, envolvendo não só questões ambientais ou ecológicas, mas adicionando também questões econômicas e sociais a este conceito. Adota-se, a partir de então, a visão do *triple botton line* (HOLLIDAY apud ROSSI *et al*, 2000), a partir do qual as organizações passam a se preocupar não somente com suas atividades produtivas e a utilização racional dos recursos naturais, mas também com sua atuação junto à sociedade, fato este que culminaria em maiores retornos aos *shareholders*, (investidores, acionistas)

Para Gilbert (1995), esse novo conceito provoca muitas mudanças tanto na sociedade quanto nas indústrias, as quais vão desde o destino final de garrafas de uso doméstico até decisões nacionais sobre políticas e investimentos.

A relação entre desenvolvimento e meio ambiente é considerada como um ponto central na compreensão dos problemas ecológicos. E o conceito de desenvolvimento sustentável trata especificamente de uma nova maneira de a sociedade se relacionar com seu ambiente, de forma a garantir a sua própria continuidade e a de seu meio externo. (MIRATA e EMTAIRAH, 2004)

Conforme coloca Medeiros; Nogueira e Arruda (2003), as definições de conceitos de desenvolvimento sustentável e sua conseqüente difusão no mundo globalizado, que abordam tanto a preservação ambiental quanto o desenvolvimento socioeconômico, gerou uma nova percepção das organizações que, atreladas às restrições legais, começam a elaborar novas estratégias organizacionais. Desta forma surge um novo cenário onde a preocupação com o meio ambiente vem alterando profundamente o estilo de administrar.

Como exemplifica Kiernan (1995, p. 172), “[...] alguns líderes ainda estão ignorando as mudanças, mas elas nada mais são do que o início de uma reestruturação industrial profunda e global.”

Os regulamentos ambientais estão cada vez mais rígidos, em toda parte do mundo, e os custos para reparos de acidentes ambientais alcançam milhões de dólares. Além disso, as

penalidades e até sentenças de prisão a executivos começaram a causar sérios impactos nos resultados das empresas, de uma forma jamais vista. No futuro, gerenciar os riscos ambientais e as oportunidades de investimento fará diferença entre superar a concorrência ou ficar para trás. Acesso ao capital, aos clientes, fornecedores e empregados comprometidos, estará cada vez mais relacionado ao desempenho e à eficiência ambiental das empresas. Assim, torna-se necessário o surgimento de novas estratégias corporativas que estabeleçam, como premissa, a importância de se considerar uma eficiente gestão ambiental como vantagem competitiva. (SILVA e QUELHAS, 2006)

Nesse ínterim, as empresas que se anteciparem poderão, através de um *marketing* adequado, obter uma imagem diferenciada junto ao mercado consumidor e aumentar sua competitividade junto à concorrência (PORTER e VAN DER LINDE, 1995).

Sob esse enfoque, Donaire (1999) adverte que a adequada interação entre a empresa e o meio ambiente está se transformando em uma oportunidade para a conquista de novos mercados e para a redução das restrições ao acesso aos mercados internacionais.

Sobre o enfoque estratégico para o desenvolvimento sustentável, Hart (1997) aponta que ele deve estar fundamentado em três estágios, que consistem em:

- **prevenção da poluição**, onde se adotam de ações preventivas para minimizar ou eliminar o surgimento da poluição, elevando a qualidade da empresa;
- **produto rastreável**, onde se tem por objetivo a minimização dos impactos produzidos pela empresa durante todo o ciclo de vida do produto; e
- **tecnologia limpa**, onde as empresas que visam minimizar os impactos procuram investir em tecnologias que tragam, para a sua base, a sustentabilidade ambiental.

O enfoque estratégico de acordo com esses três estágios pode levar a empresa à sustentabilidade. Entretanto, sem uma rotina que dirija tais atividades, não haverá efeito de longo prazo. A visão de sustentabilidade para uma indústria é como um guia para o futuro,

que mostra a maneira pela qual os produtos e serviços devem evoluir e que competências serão necessárias para se chegar lá.

A competitividade da empresa hoje e no futuro depende de como ela planeja e elabora estratégias. Novos paradigmas estão sendo criados e a questão ambiental exige um reposicionamento das empresas frente às mudanças de comportamento da sociedade. (MEDEIROS; NOGUEIRA; ARRUDA, 2003).

De acordo com Boog (1991), mitos, crenças e paradigmas obsoletos custam muito às empresas. Eles afastam clientes, geram desperdícios e custos financeiros. Tudo o que uma organização competitiva não pode desejar.

Junto às estratégias de desenvolvimento das organizações, as mesmas estão incorporando a concepção de sustentabilidade no sentido de redefinir suas responsabilidades em relação ao meio ambiente e a sociedade (WILKINSON; HILL e GOLLAN, 2001). A preocupação com o processo produtivo, visando procedimentos para tratamento de poluentes no final do processo (fim de tubo), não agregam nenhum valor ao negócio e, portanto, tem sido associada a manufaturas pouco eficientes (ROTHENBERG; PIL e MAXWELL, 2001; KING e LENOX, 2001).

A partir da década de 1990, técnicas de “fim de tubo” (técnicas que visam apenas minimizar a poluição, sem se preocupar em alterar o processo para evitar a poluição) vêm sendo substituídas por procedimentos de prevenção da poluição através da utilização eficiente dos recursos. Começam a surgir, em seqüência ao conceito de desenvolvimento sustentável, conceitos como projeto para o ambiente (*eco-design*) e eco-eficiência que, de acordo com a World Business Council for Sustainable Development - WBCSD (1992), é alcançada mediante o fornecimento de bens e serviços a preços competitivos que satisfaçam as necessidades humanas e tragam qualidade de vida, ao mesmo tempo em que reduz

progressivamente o impacto ambiental e o consumo de recursos ao longo do ciclo de vida a um nível, no mínimo, equivalente à capacidade de sustentação estimada da Terra.

Efetivamente, a eco-eficiência engloba ferramentas tais como a prevenção da poluição, redução na fonte do volume de insumos, redução de resíduos, minimização de resíduos e produção mais limpa, traduzindo a idéia de redução da poluição através de mudanças no processo. Compartilha também características com o conceito de DFE (*Design for Environment*), porque inclui o projeto do produto entre as opções tecnológicas existentes para reduzir a intensidade de uso de matéria prima e energia na produção, bem como facilitar a reutilização através da refabricação e reciclagem, atuando, inclusive, a partir de uma perspectiva de ciclo de vida, incluindo assim a vida útil do produto desde a matéria prima até o descarte. Esses novos conceitos são interfaces para possibilitar a integração entre desempenho econômico e ambiental (DIAZ e PIRES, 2005).

Contribuindo para o direcionamento das organizações nessa direção, surgiram também, mobilizações da sociedade em prol do meio ambiente tais como: boicotes de consumo, preferências dinâmicas de consumo e outras exigências de consumidores nessa área que têm afetado fundamentalmente as estratégias de negócios, bem como o valor do negócio principal de várias empresas. Esse cenário tem levado muitas empresas a adotar formalmente estratégias e programas ambientais (BHUSHAN; MACKENZIE, apud BIEKER, 2006).

### 3.3 PRÁTICAS ECO-EFICIENTES DAS EMPRESAS PRÓ-ATIVAS

Neste novo cenário surge, na prática, a produção mais limpa e a eco-eficiência na estratégia, que vem contribuir de forma efetiva para o fim das práticas das técnicas de “fim de tubo” e construir uma nova estrutura necessária para integrar os conceitos de desempenho econômico e ambiental (ELIAS; MAGALHÃES, 2003).

A *United National Industrial Development Organization* – UNIDO (2004) define a produção mais limpa como sendo uma estratégia preventiva e integrada que é utilizada em todas as fases do processo produtivo para:

- Aumentar a produtividade através do uso mais eficiente dos materiais, água e energia;
- Promover a melhora da *performance* ambiental através da redução de resíduos e emissões;
- Reduzir o impacto ambiental dos produtos em todo o seu ciclo de vida através de um projeto ecológico e economicamente eficiente.

Através de programas de melhoria contínua integrados com o meio ambiente, como a prática da produção mais limpa dentro da estratégia da eco-eficiência, é possível atender à legislação ambiental através de conceitos gerenciais como *eco-design*, uso de recursos alternativos, reciclagem dos resíduos, sem necessariamente implicar em grandes investimentos (DIAZ; PIRES, 2005)

De acordo com Diaz e Pires (2005) a produção mais limpa (P+L) é uma atitude que incentiva a mudança de comportamento na busca de novos métodos e atitudes antes de promover a mudança de tecnologia.

Andrade, Marinho e Kiperstok (2001); Kazmierczyk (2002); Hamed e El Mahgary (2004) ressaltam a importância da P+L como prática de gerenciamento ambiental, sendo esta uma opção pró-ativa para o meio ambiente, tendo em vista que previne a poluição, buscando maneiras eficientes de usar os recursos naturais, garantindo o bem estar e a saúde dos indivíduos e da comunidade.

Essa busca pela integração, a imposição de padrões ambientais, move as empresas a adotarem novas práticas que reduzem os custos totais de um produto ou aumentam seu valor, desenvolvendo a competitividade das empresas (PORTER e VAN DER LINDE, 1995; SOUSA, et al., 2004). A adoção de novas práticas leva ao estágio do planejamento, onde se incere o conceito de eco-eficiência.

A sociedade tem pressionado para que as empresas incorporem valores e ideologias como a democracia, a igualdade de oportunidades, a saúde e segurança no trabalho, a proteção ao consumidor, um meio ambiente mais limpo em seus procedimentos operacionais (SANCHES, 2000).

Nesse novo contexto, as empresas industriais que procuram se manter competitivas, vivas nessa nova realidade, empresas pró-ativas, têm percebido que, cada vez mais, diante das questões ambientais, são exigidas novas posturas, seja na maneira de operar seus negócios, seja em suas organizações. Essas novas posturas, caso tenham que ser implementadas de forma emergencial, principalmente se impostas por meio de regulamentações ambientais, ou se provierem de uma imagem pública negativa, como por atritos com comunidades locais ou por um desastre ambiental, em vez de serem realizadas de forma pró-ativa podem resultar em alto valor de investimento, podendo gerar problemas financeiros de grande monta.

Mediante este cenário, parece de consenso que ser uma empresa pró-ativa em relação ao meio ambiente, incorporando fatores ambientais nas metas, políticas e estratégias da empresa, considerando os riscos e os impactos ambientais não só de seus processos produtivos, mas também de seus produtos, fazendo com que a proteção ambiental passe a fazer parte de seus objetivos de negócios, tendo o meio ambiente como uma possibilidade de lucro, é o caminho óbvio para o desenvolvimento sustentável. Ou seja, embora a responsabilidade ambiental pareça inevitável nesse novo panorama das empresas industriais e também favorável aos interesses dos negócios das mesmas, ela ainda é uma prática pouco difundida, conforme demonstram pesquisas efetuadas com empresas do primeiro mundo, que demonstraram que a responsabilidade ambiental nem sempre faz parte da estratégia de uma indústria, a não ser que o mercado o exija claramente (MAIMON, 1992).

Nos Estados Unidos da América, a Associação Nacional de Gerentes Ambientais, em uma pesquisa realizada em 1992, definiu que as indústrias, em sua maioria, apenas estão em

conformidade às regulamentações ambientais, sendo que quase nenhuma delas pensa em termos de melhorias em projetos ou processos (WHEELER III, 1992).

No Brasil, a situação é ainda pior, pois, de acordo com Gomes (2005), 75% das maiores empresas industriais do país não possuem sequer um sistema de gestão ambiental, segundo pesquisa realizada pela *Price Waterhouse*.

No entanto, em benefício do futuro, tem-se uma série de exemplos favoráveis ao posicionamento pró-ativo em relação ao meio ambiente, tais como:

- a) A 3M, indústria norte americana do setor químico que, para reduzir as emissões de solventes, descobriu uma forma de evitar o uso dessas substâncias, substituindo-a por soluções aquosas. Tal mudança resultou não só numa melhoria de produtividade, por se tratar de substituição de um material por outro mais barato e mais seguro, mas também propiciou à empresa uma vantagem de liderança no desenvolvimento de produtos sobre os concorrentes, que a seguiram só mais tarde (PORTER; VAN DER LINDE, 1995).
- b) A Du Pont, empresa do setor químico atenta à gestão de resíduos, descobriu um novo produto químico, conhecido como HMI. A empresa verificou que o HMI, subproduto do processo produtivo do *nylon*, poderia ser usado nas indústrias farmacêutica e de tintas e, desde então, o HMI se tornou uma das principais fontes de lucro para a Du Pont (WHEELER III, 1992).
- c) No continente europeu, os fabricantes de papel estão sujeitos a uma regulamentação de gestão de resíduos sólidos. No entanto, os mesmos conseguiram desenvolver uma infra-estrutura de gerenciamento de resíduos tão mais sofisticada do que a dos norte-americanos, que lhes está permitindo obter produtos de melhor qualidade, menos contaminados e conquistando fatias crescentes no mercado asiático, em detrimento dos fornecedores norte-americanos (BIDDLE, 1993).

- d) Destilarias indianas usavam tecnologias antigas e tradicionais para a produção de seus produtos, lançando um cheiro desagradável e substâncias tóxicas no meio ambiente. Com o advento das legislações ambientais mais rígidas em todo o mundo, essas destilarias buscaram uma organização internacional especializada que as ajudou a desenvolver e instalar um processo de tratamento, que não só reduziu em 95% os resíduos tóxicos no meio ambiente, mas também gerou um subproduto, o metano, que passou a ser utilizado como substituto energético, reduzindo também os custos de consumo de energia nas empresas (NORTH, 1992).
- e) Usinas de Açúcar e Alcool no Brasil que reciclam resíduos sólidos e geram energia sustentável.

Esses exemplos são o aval para as vantagens competitivas provenientes da mudança de paradigma da concorrência industrial, passando a tratar a qualidade ambiental como uma fonte potencial de rentabilidade e vantagem competitiva e não mais como um problema que gera custos e dispêndio para a indústria (DIAZ;PIRES, 2005)

Para o mundo organizacional formado pela iniciativa privada o termo "eco eficiência" também começou a ser introduzido em 1992 pelo WBCSD que trata de uma coalizão de mais de 100 companhias multinacionais que compartilham valores de comprometimento com o ambiente, princípios de crescimento econômico e desenvolvimento sustentável, seus membros representam 34 países e mais de 20 setores industriais, através da publicação de seu livro "*Changing Course*", endossado pela Conferência do Rio (Eco 92) como uma forma das organizações implementar a Agenda 21 no setor privado. Desde então, tem-se tornado um sinônimo de uma filosofia de gerenciamento que leva à sustentabilidade, e como foi um conceito definido pelo próprio mundo dos negócios, está se popularizando muito rapidamente entre os executivos de todo o mundo.

De acordo com o *WBCSD (2007)*, a eco-eficiência é obtida pela "entrega de bens e serviços com preços competitivos que satisfazem as necessidades humanas e trazem qualidade de vida, progressivamente reduzindo impactos ambientais dos bens e serviços através de todo o ciclo de vida para um nível, no mínimo, em linha com a capacidade estimada da Terra em suportar". Este conceito descreve uma visão para a produção de bens e serviços que possuam valor econômico enquanto reduzem os impactos ecológicos da produção. Em outras palavras, "eco-eficiência significa produzir mais com menos".

Conforme o *WBCSD (2007)*, os sete elementos básicos nas práticas das companhias que operam de forma eco-eficiente são:

1. Redução da intensidade de material utilizado nos bens e serviços;
2. Redução da intensidade de energia utilizada nos bens e serviços;
3. Redução da dispersão de qualquer tipo de material tóxico;
4. Apoio à reciclagem;
5. Maximização do uso sustentável dos recursos naturais;
6. Extensão da durabilidade dos produtos;
7. Aumento do nível de bens e serviços ;

A diminuição dos impactos ambientais, através da redução da entrada de materiais (recursos naturais, água, ar e energia) por unidade de produção, transforma-se em um aumento da produtividade. O uso mais produtivo dos recursos faz as companhias mais competitivas, criando na prática uma ligação entre a liderança ambiental e viabilidade econômica. A eco-eficiência trata de um posicionamento estratégico que significa que as companhias podem melhorar sua *performance* ambiental e economizar dinheiro através da redução do uso de vários insumos no seu processo produtivo.

Algumas organizações já estão adotando princípios e práticas da eco-eficiência, integrando a excelência ambiental em sua filosofia corporativa; definindo metas para melhorar a *performance*, ao mesmo tempo que introduzem sistemas para auditá-las e medi-las; assumindo responsabilidade pelos seus produtos no seu ciclo de vida completo; sendo inovativa no desenvolvimento de novos processos e produtos e colocando ênfase em prevenir a poluição, ao invés de pagar para limpar.

O *WBCSD* também determina quais são os quatro fatores de sucesso para as companhias que buscam a eco-eficiência:

**1. Ênfase no serviço ao consumidor** - Focando que tipo de serviços oferecer, não somente quais produtos oferecer. Assim as companhias criam novas oportunidades de entregar aplicações que agregam mais valor (*Dow Chemical, Interface*).

**2. Ênfase na qualidade de vida** - O sucesso das companhias no futuro estará cada vez mais focado nos produtos e serviços que atendam a necessidades reais, e não aqueles parâmetros criados anteriormente.

**3. Uma visão do ciclo de vida** - As companhias agregam valor ao seu negócio monitorando e avaliando o seu impacto a cada estágio do ciclo de vida. Uma visão deste tipo pode levar a desenhar ou redesenhar produtos e processos para minimizar o impacto ambiental enquanto se maximiza a eficiência.

**4. Eco-capacidade** - Em última instância, a eco-eficiência ajuda as companhias a fazer negócios de forma a adicionar cada vez mais valor, levando em consideração o que o planeta pode suportar, ou seja, a capacidade da Terra em receber resíduos e detritos.

Assim tem-se que a eco-eficiência na estratégia e a produção mais limpa na prática são mecanismos satisfatórios com relação às questões ambientais, utilizados pelas empresas



quando se posicionam de forma pró-ativa, e estão diretamente ligados ao grau de conscientização e comprometimento ambiental das empresas (XAVIER, 2005). Essa relação pode ser visualizada na Figura 14 (PNUMA – Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente).

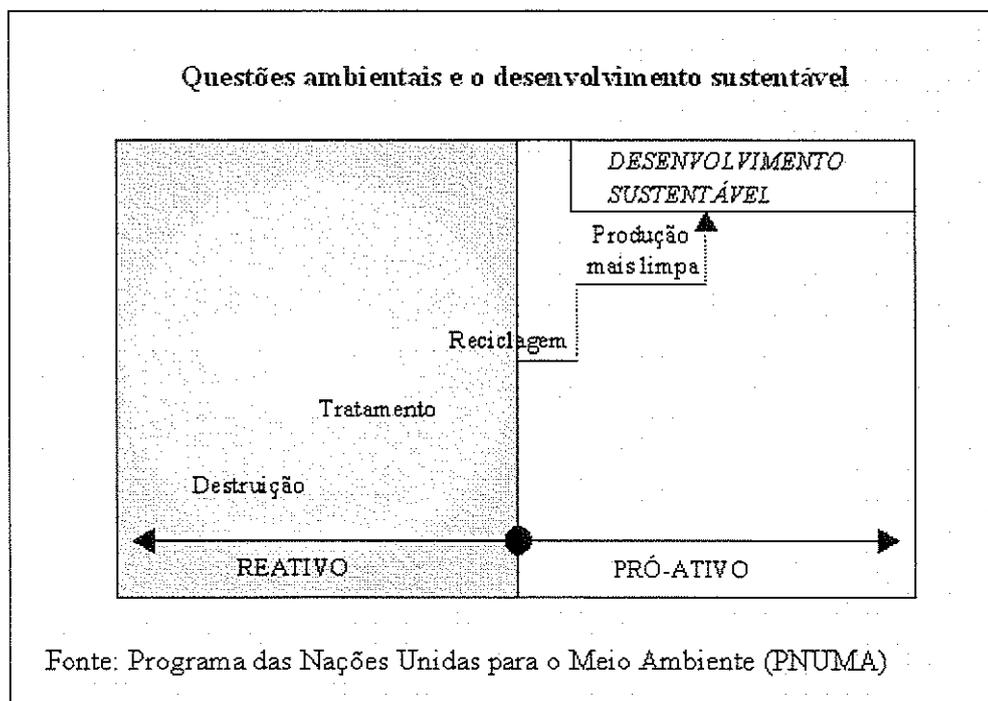


Figura 14 - Relação das empresas quanto aos mecanismos de produção  
 Fonte: PNUMA – Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente

O principal fator motivador para as empresas assumirem uma posição pró-ativa é a busca da sustentabilidade do negócio, sua sobrevivência no atual contexto de mercado.

Nesse aspecto, é importante visualizar a sustentabilidade conforme a abordagem de Sachs (1993), que determina a existência de cinco fases da sustentabilidade – social, econômica, ecológica, espacial e cultural – que sempre devem ser consideradas de forma simultânea e integrada como mostra a figura 15 (XAVIER 2005).

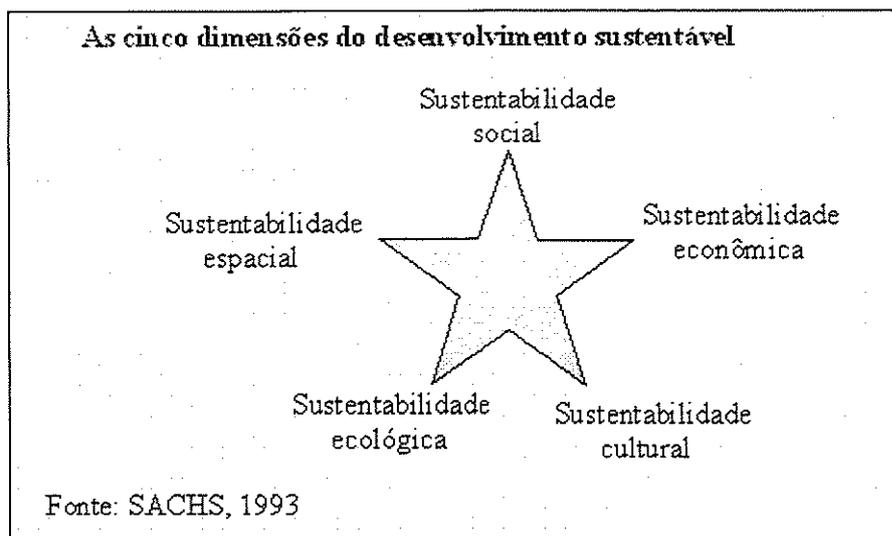


Figura 15 - As cinco dimensões do desenvolvimento sustentável.  
Fonte: Xavier 2005

Como principais premissas de cada dimensão do desenvolvimento sustentável, conforme Sachs (1993), apud Xavier (2005) tem-se:

- Sustentabilidade Social: melhor distribuição de renda, divisão das riquezas diminuindo a disparidade entre ricos e pobres.
- Sustentabilidade econômica: recursos aplicados de forma mais eficiente e constantes investimentos públicos e privados.
- Sustentabilidade ecológica: utilizar a criatividade e a tecnologia para ampliar a capacidade dos recursos naturais e diminuir o teor de resíduos, definir normas para uma adequada proteção ambiental.
- Sustentabilidade espacial: reduzir a concentração nas áreas metropolitanas; frear a destruição de ecossistemas; promover a agricultura através de técnicas sustentáveis, explorar o potencial da industrialização descentralizada e acoplada a tecnologias limpas, protegendo a biodiversidade.
- Sustentabilidade cultural: incluir nos processos de desenvolvimento a procura de raízes endógenas de processos de modernização e de sistemas agrícolas integrados, processos que busquem mudanças dentro da continuidade cultural e que tragam em seu bojo o conceito de ecodesenvolvimento para o ecossistema local.
- Sustentabilidade temporal: manutenção da capacidade de suporte do sistema, ao longo do tempo, sem restrições ou escassez de insumos e matérias primas.

Parece evidente, a partir dos fatos observados que, para um real benefício da humanidade, desenvolvimento econômico e ecologia (preservação do meio ambiente) devem ter conceitos afins, através da agregação de atributos de desenvolvimento sustentável ao modelo atual (BANDEIRA, 2003).

A busca para solucionar os problemas ambientais não deve se prender somente às inovações tecnológicas, mantendo o mesmo ritmo de exploração de recursos e produção de resíduos. Há necessidade de incorporar, desde o projeto de produtos e regulamentação, variáveis ligadas ao meio ambiente e à qualidade de vida da população. Desta forma, dentro de uma abordagem que privilegie uma visão global, podem-se criar condições que viabilizem um enfoque “ambiental” para produtos e processos, tornando-os “*ambientalmente viáveis*” e sustentáveis ao longo de seu ciclo de vida. Conseqüentemente, muitas estratégias de gerenciamento ambiental tem passado do *status* de controle para a atuação preventiva. (BROCKHOLL apud HUANG, 1996).

Desta forma, empresas podem contribuir individualmente para o desenvolvimento sustentável a partir da inovação nos seus produtos e processos, a fim de usar mais eficientemente a matéria prima; melhorando a imagem corporativa ou do produto; reduzindo os riscos dos problemas com a responsabilidade ambiental; e melhorando as condições de trabalho. Essas inovações podem contribuir simultaneamente na direção de atingir as metas econômicas, ambientais e sociais na chamada condição “win-win-win”, quando a melhoria da *performance* ambiental e a maior satisfação do cliente são acompanhadas da melhor *performance* econômica da empresa (JIMENEZ; LORENT apud ELKINGTON, 1991).

A implementação do trinômio econômico/social/ambiental está intrinsecamente ligada à avaliação do ciclo de vida dos produtos. De acordo com Duarte (1997) e a *Society of Environmental Toxicology and Chemistry* – SETAC, a avaliação do ciclo de vida trata de um método que busca avaliar as cargas ambientais geradas por um produto, processo ou atividade, onde se considera a energia utilizada, a matéria e as emissões ambientais, sendo analisado todo o ciclo de vida do produto, bem como as possibilidades de melhorias ambientais.

Para Prates (1998) e Venzke (2002) essa avaliação é feita considerando uma abordagem holística, sendo analisado o sistema de determinado produto como um todo, corroborando com o que foi destacado anteriormente.

Essa visão holística, dos produtos e seus processos produtivos, remete ao atual desafio enfrentado pelas indústrias, que consiste em construir um paradigma tecnicoeconômico ambiental, no qual não se deve limitar aos setores de energia e recursos naturais para minimizar os problemas ambientais, mas também se faz necessário gerar mudança dos comportamentos sociais, contemplando os modos de vida e os padrões de consumo (FORAY; GRÜBLER, 1996).

Acredita-se, desta forma, que um dos caminhos para a redução da degradação ambiental pela fabricação, utilização e descarte de produtos industriais esteja em incorporar ao produto em desenvolvimento, durante a fase de projeto, considerações ambientais, que possam aumentar a eficiência, reduzir gastos de materiais e energia, reduzir resíduos e os custos (SOUSA et al., 2004).

Dentro deste contexto de gestão, os aspectos ambientais assumem uma significativa importância. De acordo com Rebelo (1998), no passado preocupava-se com os impactos do crescimento econômico sobre o meio ambiente, enquanto a preocupação atual, de modo inverso, é com as consequências dos impactos ambientais sobre as perspectivas econômicas. Assim, a gestão ambiental para o desenvolvimento sustentável torna-se vital para as empresas.

De acordo com Meyer (2000), pode-se apresentar a gestão ambiental da seguinte forma:

*Objeto:* manter o meio ambiente saudável para o atendimento das necessidades humanas atuais, sem comprometer o atendimento das necessidades das gerações futuras.

*Meios:* atuar sobre as modificações causadas no meio ambiente pelo uso e/ou descarte dos bens e detritos gerados pelas atividades humanas, a partir de um plano de ação viável técnica e economicamente, com prioridades definidas.

*Instrumentos:* monitoramentos, controles, taxas, imposições, subsídios, divulgação, obras e ações, além de treinamento e conscientização.

*Base de atuação:* diagnósticos e prognósticos (cenários) ambientais da área de atuação, a partir de estudos e pesquisas dirigidos à busca de soluções para os problemas que forem detectados.

Ainda de acordo com Meyer (2000), cada vez mais a questão ambiental está se tornando uma preocupação para os executivos de vários setores empresariais. Para Saling et al. (2002), os negócios são encorajados a tomar posições mais competitivas e inovadoras, resguardando uma grande responsabilidade pelo meio ambiente. Segundo Leal (2003), a ciência administrativa tem sofrido grandes incentivos para estudar a visão ecológica nas organizações. Longe de ser um termo da moda, a perspectiva ecológica tem se mostrado predominante em alguns estudos de casos administrativos.

De acordo com Winter apud Donaire (1999), existem cinco razões principais pelas quais um gerente responsável deveria aplicar o princípio da gestão ambiental em sua empresa:

*Sobrevivência ecológica:* sem empresas orientadas para o ambiente, não poderá existir uma economia orientada para o ambiente – e sem esta última não se poderá esperar para a espécie humana uma vida com o mínimo de qualidade.

*Oportunidades de mercado:* a empresa perderá oportunidades no mercado e aumentará o risco de sua responsabilização por danos ambientais, traduzida em prejuízos econômicos.

*Redução de riscos:* os conselhos de administração, os diretores executivos, os chefes de departamentos e outros membros do pessoal estarão sujeitos a riscos menores, assegurando assim seu emprego e sua carreira profissional.

*Redução de custos:* muitas oportunidades de redução de custos não serão aproveitadas.

*Integridade pessoal:* os homens de negócios estarão em conflito com sua própria consciência – e sem auto-estima não poderá existir verdadeira identificação com a profissão e emprego.

Em paralelo, no Brasil foi fundado em 1997, com a missão de liderar, junto aos grandes grupos empresariais, o processo de mudança para um novo modelo de desenvolvimento, o Conselho Empresarial Brasileiro para o Desenvolvimento Sustentável (CEBDS) que dissemina o conceito de eco-eficiência como sendo um estilo gerencial que busca produzir mais com menos insumos e menos poluição, mantendo produtos e serviços a preços competitivos, melhorando a qualidade de vida da sociedade e, progressivamente,

levando os impactos ambientais e o uso de recursos a situar-se dentro da capacidade de sustentação do planeta.

Desde então, tem-se tornado um sinônimo de uma filosofia de gerenciamento que leva à sustentabilidade, e como foi um conceito definido pelo próprio mundo dos negócios, está se popularizando muito rapidamente entre os executivos de todo o mundo, contribuindo de forma incisiva para que os objetivos de desenvolvimento sustentável e eco-eficiência sejam alcançados, gerando algumas metodologias como as denominadas eco-ferramentas que oferecem suporte às atividades da equipe de projeto na inclusão da demanda ambiental no processo de projeto (CALUWE,1997). As eco-ferramentas são classificadas em dois grupos, segundo sua utilização:

- a- Ferramentas e métodos de análise, usadas para identificar o impacto ambiental de um produto ao longo do seu ciclo de vida.
- b- Ferramentas e métodos de melhoria, usadas para auxiliar os projetistas nas tomadas de decisões e na implementação de ações, que objetivam a redução do impacto ambiental dos produtos.

Para que a ferramenta auxilie na resolução de problemas é necessário que a mesma seja selecionada considerando o objetivo que deverá ser alcançado (CALUWE, 1997). Também é preciso determinar as fases do desenvolvimento do produto em que se deseja adotar o critério ambiental (SWEATMAN; SIMON, 1996).

Para Caluwe (1997), há diversas eco-ferramentas tais como: DFX's (*Design for anything*), PP/WP (*Pollution Prevention / Waste Prevention*), ferramentas de melhorias e ACV ( Análise do Ciclo de Vida).

DFX's (*Design for anything*): é usado para denominar todas as abordagens que provêm características ambientais específicas aos produtos, tais como: DFR – *Design for*

*Recycling* (projeto para reciclagem) (BEITZ et al. Apud BANDIN, 2005) e DFD – *Design for Disassembly* (projeto para a desmontagem) (BOOTHROYD; ALTING, 1992).

PP/WP (*Pollution Prevention / Waste Prevention*): a prevenção da poluição e do desperdício são práticas que procuram reduzir o lançamento de resíduos para o meio ambiente, e a má mensuração dos insumos nos processos e atividades. Essas ferramentas são mais direcionadas aos processos de fabricação, mas também podem ser direcionadas ao projeto de produtos quando visam orientar a escolha dos materiais a serem utilizados e do processo.

Ferramentas de melhorias: estas ferramentas oferecem informações e sugestões sobre alternativas de materiais, processos de fabricação, fontes de energias, distribuição e cenários de descarte.

ACV (Análise do Ciclo de Vida): é uma das eco-ferramentas mais utilizadas, pois suporta a determinação do perfil do impacto ambiental no ciclo de vida do produto. É aplicada na verificação do impacto ambiental e também na identificação de oportunidades de melhorias ambientais. É utilizada inclusive como base de certificação ambiental de produtos em diferentes programas de rotulagem ambiental (US – EPA, 1993).

A incorporação destas metodologias ao projeto do produto, contribui para uma produção menos agressiva ao meio ambiente (BANDEIRA, 2003)

As equipes de projeto, para atingir este objetivo, devem identificar, hierarquizar e coordenar o atendimento das necessidades dos diversos níveis de clientes envolvidos com o produto, dentro de uma abordagem cada vez mais ampla. A ação do projeto de produtos, nos dias atuais, incorpora novas variáveis, como a necessidade cada vez maior de atributos “sustentáveis” ao produto, que permitam o menor impacto possível ao meio ambiente e o surgimento de soluções criativas e diferenciadas em um cenário de concorrência cada vez mais acirrada, em mercados cada vez mais exigentes e competitivos. É flagrante a crescente

observação pelos consumidores, em especial em países europeus, de atributos “ecológicos” associados aos produtos como elemento diferenciador para sua aquisição (BOOTHROYD; DEWHURST; KNIGHT, 2001).

O projeto do produto deve englobar as diferentes fases do seu ciclo de vida, deve sempre haver uma íntima ligação entre o projeto, o desenvolvimento do produto e homem – meio ambiente, para que o projeto seja considerado “ambientalmente viável”.

De acordo com Gouvinhas (2001), todo o processo de desenvolvimento do produto deve ser considerado, e deve ter as seguintes características fundamentais:

- Sistemático: sistematizar o desenvolvimento através do uso de metodologias e ferramentas de projeto que auxiliem o projetista e lhe permita obter “soluções rápidas e precisas”;
- Criativo: apresentação de soluções criativas que garantam a competitividade;
- Multidisciplinar: o produto a ser desenvolvido deve envolver vários setores da empresa, como marketing, produção, assistência-técnica etc;
- Pró-ativo: é importante a visão além dos limites do projeto, antecipando soluções para problemas em etapas seguintes, tornando o projeto eficiente;
- Interativo: as decisões devem ser revistas a cada etapa, podendo ser alteradas a fim de evitar erros que possam ocorrer durante as fases do desenvolvimento.

Perante todas essas iniciativas, fica visível a preocupação das empresas para com a preservação ambiental, daí a busca constante de desenvolver produtos ecologicamente corretos. Gouvinhas (2001) afirma que é preciso, segundo ambientalistas, ser de quatro a dez vezes mais eficientes na gerência de recursos naturais para ter os mesmos indicadores de qualidade de vida. Para desenvolver um produto se deve levar em consideração aspectos inerentes a ele, tais como função, custo, ambiente de instalação, aplicabilidade, tipo de

consumidor, forma, viabilidade e custo de transporte, assistência técnica, etc., além de aspectos que o tornem ecologicamente eficiente.

Para caminhar em direção ao objetivo de desenvolver produtos que atendam a esse novo nível de exigência, o DFX's (*Design for anything*), uma das eco-ferramentas também conhecida como Projeto para “algo”, se tornou muito importante para auxiliar o projetista na obtenção do produto eco-eficiente.

Antes mesmo de 1960, já eram desenvolvidos estudos sistemáticos para criação de guias a serem utilizados durante o desenvolvimento de produtos, a fim de tornar esse desenvolvimento eficiente, por exemplo, em aspectos relacionados à produção. A partir de 1970 foi introduzido o *Design for Assembly* – DFA ou Projeto para Montagem, trazendo benefícios significativos às organizações, revolucionando práticas e pensamentos de desenvolvimento de produtos antes aplicados. A expansão do DFA levou ao surgimento de novas ferramentas como *Design for Manufacturing* – DFM ou Projeto para Manufatura, *Design for Disassembly* – DFD ou Projeto para Desmontagem, *Design for Recycling* – DFR ou Projeto para Reciclagem, *Design for Environment* – DFE ou Projeto para o Meio Ambiente, entre outros. A letra X, em DFX, pode ser então substituída por uma inicial para o que se deseja projetar, seja Manufatura, Desmontagem, Reciclagem ou Meio Ambiente, entre outros. Alguns paradigmas do *Design for X* propostos são mostrados no quadro 04 (Diaz, Gonzales, Alvarez. *Logística Inversa y Medio Ambiente*. McGraw Hill, 2004)

X	Referências	Características
Qualidade (DFQ)	Crow (1983)	A qualidade deve incorporar-se no produto desde o seu desenho, para evitar inspeções. A metodologia Taguchi é a base destas idéias.
Desmontagem (DFD)	Broothroyd, Alting (1992)	Minimizar a complexidade da estrutura reduzindo o número de componentes; usar o maior número possível de materiais semelhantes; buscar os tipos mais adequados de junção entre as peças mais adequados para facilitar a desagregação.
Montagem (DFA)	Broothroyd & Dewhurst (1996)	Facilitar a montagem e reduzir o custo, minimizando o número de componentes e facilitando o manuseio.
Confiabilidade (DFRel)	Ireson & Coombs (1988)	Trata de aumentar desde o desenho a probabilidade de que um produto funcione sem falhas durante um determinado

		período de tempo.
Manutenção (DFMt)	Moss (1985)	Garantir a manutenção com redução das dificuldades, considerando: acessibilidade, detecção rápida de falhas, reposição de pouco peso e volume, formas padronizadas que permitam o uso de ferramentas padrões.
Manufatura (DFM)	Stoll (1988)	Facilitar a integração de todos os quesitos de fabricação, avaliando custos, usando desenhos modulares, componentes padronizados, boa seleção de materiais, etc.
Meio ambiente (DFE)	Fiksel(1996)	Busca os desenhos que provoquem o mínimo impacto no meio ambiente (consumo de recursos e emissões poluentes), durante todo o ciclo de vida do produto.
Reciclabilidade (DFR)	Henshaw (1994)	Pretende-se maximizar o benefício durante a vida útil do produto, maximizando as partes reutilizáveis visando minimizar os despejos em aterros.
Serviço	Gershenson, J. A. y K. Ishii (1991)	Procurar viabilizar a prática por parte do usuário, bem como a ampliação dos usos do produto/material.
Checagem (DFT)	Gatenby & Foo (1990)	Uma das primeiras etapas definidas, deve possibilitar a verificação do bom funcionamento na fase de produção e no uso dos diferentes componentes do produto.

Quadro 04 - Alguns paradigmas do *Desing for X*.

Fonte: Adenso Diaz, B., Gonzales, P. e Alvarez, M.J. Logística Inversa y Medio Ambiente. McGraw Hill, 2004

O uso destas ferramentas vai conferir ao produto aspectos que facilitem sua montagem – DFA, desmontagem – DFD, reciclagem – DFR e garantam a preservação ambiental – DFE.

Um exemplo de atuação holística, essa visão ampla de toda a cadeia desde a origem da matéria prima até o consumidor final, se dá na implementação da ecologia industrial, pois exige uma modificação de todo o sistema de produção para além das fronteiras da empresa, em direção aos fornecedores e usuários e/ou consumidores. A Ecologia Industrial consiste na modelagem sistêmica das atividades de produção e consumo, com os fluxos de recursos envolvidos nas atividades e com fatores econômicos, políticos, sociais e legais, levando em conta que o meio industrial está imerso em um universo mais amplo que é o meio ambiente. (Savi et al., 2006).

Por este motivo, Allenby (1999) define ecologia industrial como sendo multidisciplinar e podendo ser aplicada à manufatura e aos ciclos de vida de produtos através de ferramentas, como DFA e avaliação do ciclo de vida.

Ramos (2001) afirma que a ecologia industrial consiste na busca do equilíbrio semelhante ao dos eco-sistemas naturais. Para que um cenário seja modificado, é necessário um planejamento além do próprio produto que, em alguns casos, é realizado por projetistas que estejam fora dos limites da organização.

A sensibilidade ecológica, conforme abordado por Prahalad (2000), terá grande importância neste novo milênio. As empresas terão que abandonar uma perspectiva limitada ao cumprimento das leis ambientais e adotar um ponto de vista voltado a aproveitar oportunidades de negócios na área do meio ambiente.

O cenário deixa claro que os *designs* de produtos e de arranjos físicos de processos produtivos não podem ignorar a globalização da economia e a flexibilização dos formatos organizacionais envolvendo empresas, agências estatais e centros de pesquisa (FREEMAN, 1992).

Com o intento de satisfazer esse novo cenário, é necessário contemplar os aspectos ambientais em todos os estágios de desenvolvimento de um produto, visando colaborar para a redução do impacto ambiental durante seu ciclo de vida. Este posicionamento nas empresas foi denominado *ecodesign* (SEBRAE, 2004).

De acordo com Brezet e Van Hemel (1996), a adoção do *ecodesign* significa considerar os impactos sobre o meio ambiente em todas as decisões de projeto, dando a este elemento a mesma importância atribuída a elementos tradicionais como lucro, qualidade, estética e ergonomia.

O conceito de eco-eficiência sugere uma importante ligação entre eficiência dos recursos e a produtividade, lucratividade e responsabilidade ambiental da empresa.

A eco-eficiência tem um sentido de melhoria econômica das empresas, pois eliminando resíduos e usando recursos de forma mais coerente, empresas eco-eficientes podem obter a redução dos custos e tornarem-se mais competitivas, obtendo vantagens em

novos mercados, principalmente em mercados onde as exigências para produtos sustentáveis são rigorosas, como os da comunidade européia.

Desta maneira, o investimento em eco-eficiência é um investimento produtivo para o empresário e para a empresa. De um modo geral, são muitos os ganhos proporcionados aos empresários que optam pela implementação desses novos conceitos. Quando ele investe em eco-eficiência está investindo, por exemplo, em redução de matéria-prima. As vantagens vão além: a empresa terá menos volume de rejeitos para tratar; ganhará institucionalmente, com a melhoria de sua imagem junto aos órgãos oficiais; eticamente com a melhora da sua imagem junto ao consumidor; e ganhará da concorrência porque amplia sua margem de competitividade.

O conceito de sustentabilidade envolve três dimensões: social, ambiental e econômica. A abrangência dessas três vertentes é tão grande que se torna praticamente impossível que uma empresa sozinha seja sustentável. Dessa forma, os conceitos de sustentabilidade estão cada vez mais presentes na inter-relação das empresas. E cabe aos grandes grupos empresariais a responsabilidade maior de liderar esse processo de disseminação do novo conceito na cadeia produtiva. A ampliação dessa rede de sustentabilidade é irreversível. (CEBDS, 2007).

No Brasil, algumas das grandes empresas têm dado exemplos muito significativos dos benefícios da eco-eficiência. Siderúrgicas (CSN (Companhia Siderúrgica Nacional) e CST (Companhia Siderúrgica de Tocantins), por exemplo) reutilizam água e transformam calor em energia, reduzindo os gastos com insumo e o impacto do processo produtivo no meio ambiente. A Petrobrás investe significativamente na introdução do gás natural como fonte de energia, mais rentável e menos poluente, e em programas de biocombustível. Além de contribuir para conservar os recursos naturais, a conduta dessas empresas traz benefícios econômicos tangíveis e intangíveis.

Contudo, para que o setor empresarial brasileiro consolide de forma definitiva a cultura da eco-eficiência é preciso incorporar as médias, pequenas e microempresas. Afinal, esse segmento representa 99% dos 5,6 milhões de empresas do País e é a base da fonte de geração de emprego.

Alguns outros exemplos são o da TV Futura, onde várias empresas investem em educação popular, ou dos 400 leitos que a Usiminas mantém num hospital de Ipatinga. Essas ações não devem ser vistas como paternalismo, mas sim como investimento na área de recursos humanos e na imagem que a empresa precisa construir no mercado, seja na cidade onde está instalada, seja em outro continente do planeta.

Há também o outro lado do contexto: recentemente, uma empresa multinacional de artigos esportivos perdeu uma fatia de 30 % de seu mercado, porque foi denunciada por praticar trabalho escravo num país oriental.

Estudo recente da Universidade de Harvard mostra que as empresas socialmente responsáveis apresentam uma taxa de crescimento quatro vezes maior que as companhias focadas apenas nos acionistas. Está comprovado que as empresas que duram são aquelas capazes de agregar valor à sociedade. A imagem da empresa é fundamental, cada vez mais a atividade econômica precisa estar inter-relacionada com a questão social e com a questão ambiental. ([www.ibps.com.br](http://www.ibps.com.br))

Portanto, pode-se considerar que o desenvolvimento do produto em conjunto ao estudo do arranjo físico das empresas com foco na eco-eficiência é uma nova vertente que se coloca de forma determinante para a obtenção de bons resultados.

### 3.4 ECO-EFICIÊNCIA NAS ORGANIZAÇÕES

Segundo Almeida (1999), a importância do conceito de desenvolvimento sustentável tem conduzido empresas a repensarem seu modo de atuação em busca da eco-eficiência.

Segundo Hartman et al (1999), através de seus processos produtivos as organizações tornaram-se as maiores responsáveis pelo consumo dos recursos naturais do planeta. Atualmente, as empresas mais pressionadas pela opinião pública procuram “vestir a camisa do verde”. No entanto isto não é suficiente para que a organização esteja engajada no conceito de desenvolvimento sustentável em busca da eco-eficiência. Embora Almeida (2002) enfatize que o processo de mudança que consiste em disseminar o conceito da sustentabilidade esteja em construção, sugere que todas as áreas do pensamento e da ação humana devam se comprometer com o combate dos desequilíbrios socioambientais.

Welsh e Herremans (1998) enfatizam a necessidade das empresas abordarem, durante seu planejamento estratégico, a questão do desenvolvimento sustentável e da eco-eficiência. Ao devotarem seu tempo elaborando políticas ambientais e sociais, acabarão por usufruir dos benefícios destas ações, representados por melhores resultados no médio e longo prazo. Neste ponto, torna-se fundamental a disseminação da visão, através da ação de seus líderes, do que a empresa possa vir a ser. Este fato criaria o autocontrole do processo a partir das crenças e dos valores da organização, fato este fundamental para o alcance da eco-eficiência.

No entanto, não basta que ocorra a disseminação dos valores ligados ao desenvolvimento sustentável e a definição de ações para garantir o resultado desta estratégia. As organizações devem se preocupar em criar mecanismos seguros e adequados para mensurá-la, focando seus três pilares o ambiental, o social e o econômico (STROBEL E SELIG, 2004). É comum, porém que, ao contrário dos indicadores de *performance* tradicionais, os indicadores de desenvolvimento sustentável negligenciem o aspecto

econômico, comprometendo assim toda a estratégia da organização (STROBEL E SELIG, 2004; BELLEN, 2003).

Ainda segundo Welsh e Herremans (1998), para que as organizações efetivamente obtenham sucesso em suas estratégias de desenvolvimento sustentável e busca da eco-eficiência, é fundamental que elas considerem o interesse de seus diversos *stakeholders*, pois possuem obrigações não só com elas mesmas, mas também, com todos os seus grupos de interesse, como: fornecedores, clientes, colaboradores, entre outros (FREEMAN, 1984; DONALDSON e PRESTON, 1995; e MITCHELL et al.,1997). Assim, segundo Elkington (1991), o desafio que as organizações passam a ter é de desenvolver novas formas de operar em cooperação com estes grupos de interesse.

Dessa maneira, a visão organizacional de sustentabilidade proposta por Rodriguez et al. (2002) sustenta-se em quatro pilares:

- (1) razões físicas: onde se encontram os recursos naturais e o meio ambiente;
- (2) razões sociais: que englobam ações efetivas da organização na sociedade, além do simples cumprimento de leis ou criação de empregos;
- (3) razões éticas: que incluem a individualidade e os valores pessoais no trabalho, além de contribuir para a distribuição de oportunidades para a sociedade, e
- (4) razões de negócios: resultado da combinação dos três pilares anteriores.

Embora ações sociais constituam parte essencial do conceito de desenvolvimento sustentável, segundo Nassif et al (2004), as organizações hoje se lançam em diversas práticas sociais, mas boa parte delas não pode ser considerada iniciativa de desenvolvimento sustentável, pois constituem ações filantrópicas ou assistencialistas, pura e simplesmente.

O sucesso econômico dos negócios é apontado, por Stead e Stead (2000), como dependente da melhoria da qualidade de vida dos países que são mercados potenciais para expansão dos negócios. Segundo Prahalad apud Rossi et al (2000), este fato criaria valor para

os *shareholders*, através da extensão dos mercados das organizações, além de gerar benefícios sociais como maior engajamento de populações locais nas estratégias de desenvolvimento sustentável e maior igualdade social, entre outros. Neste sentido, as organizações possuem papel fundamental em contribuir com a educação, oferecimento de oportunidades e distribuição de renda, não de forma assistencialista, mas de tal forma que garantam para as comunidades sua sustentabilidade.

Hartman et al. (1999), Rossi et al. (2000) e Benedetti et al (2004) enfatizam ainda a necessidade do estabelecimento de parcerias para o alcance da sustentabilidade, o que implica em uma série de trocas (intercâmbios) entre os diversos setores da sociedade. As parcerias podem resultar em inovações industriais que contemplem as ferramentas eco eficientes como ciclos de vida de produtos e o gerenciamento ambiental, além do estabelecimento de novos valores sociais.

A partir da consciência mundial da necessidade da minimização dos processos de degradação ambiental, começam a ocorrer, em nível planetário, uma mudança significativa de paradigmas e alteração dos sistemas de valores. Este cenário sugere a canalização de planos e ações voltados para a conservação, cooperação e parcerias, na busca de reaproveitamento de resíduos e otimização de matérias-primas na produção das necessidades materiais identificadas.

Assim, a reavaliação no processo tecnológico já implementado busca sintonia com a nova postura para o terceiro milênio: diminuição da agressão ao meio ambiente. Esta postura passa pelo equacionamento de dois fatores: atendimento das necessidades humanas (condições essenciais de vida) e as limitações que devem ser estabelecidas para as soluções tecnológicas e a utilização dos recursos naturais renováveis e não-renováveis (ou renováveis em longo prazo). A fixação de conceitos de sustentabilidade determina que o melhor produto e o melhor processo são aqueles que forem melhores para a preservação do ambiente.

Este conceito incorpora, portanto, aspectos de rentabilidade econômico-financeira, eficiência produtiva, qualidade de processo e de produto. Segundo Lerípio (1997), a corrente da sustentabilidade entende ainda que poluição é uma forma de desperdício e ineficiência dos processos produtivos pela perda de matérias-primas e insumos, na fabricação de produtos. Assim, a busca da eco-eficiência passa pela concepção do produto e do próprio processo produtivo, através de gerenciamento de resíduos, utilização de forma consciente das matérias-primas, minimização do consumo energético e dos insumos necessários ao processo. Hoje o requisito principal de projeto reside na eco-eficiência de um produto.

Eco-eficiência de um produto consiste na característica ambiental que um artefato, equipamento ou componente possui. O produto eco eficiente apresenta requisitos especiais, que o diferenciam de outros, ao ser fabricado, estocado, transportado, utilizado, descartado, coletado e reciclado, num nível ecológico adequado aos seus usuários e ao meio natural, no qual estes se inserem. Sabe-se que a manutenção do equilíbrio dos ecossistemas passa obrigatoriamente por mudanças nos processos industriais, nos modelos de produção hoje utilizados e até mesmo nos conceitos de qualidade total vigentes (LERÍPIO, 2001)

Para tanto, esta postura necessita levar em conta aspectos como:

- a substituição dos paradigmas fundamentados na lógica mecanicista pelos novos paradigmas de natureza ecológica e não-linear (Parker & Stacey, 1995);
- o novo sistema de valores mercadológicos, baseados no princípio da conservação, cooperação e da parceria, significando em termos empresariais estratégias produtivas como reaproveitamento de resíduos e otimização de matérias-primas na fabricação de novos produtos (Kotler, 1996);
- o feedback no processo tecnológico já implementado em sintonia com o terceiro milênio, tendo como vetor principal a diminuição da agressão ao meio ambiente (Toffler, 1995).

Com os impactos provocados pela globalização, pela flexibilidade do processo produtivo e pela tecnologia da informação, a visão sobre o arranjo físico produtivo tem contingências que impõe mudanças de abordagens.

### 3.5 INTERFACES ENTRE ARRANJO FÍSICO E ECO-EFICIÊNCIA

O ponto de confluência existente entre arranjo físico e eco-eficiência, a interface, surge na busca do melhoramento contínuo do processo produtivo tanto sob o ponto de vista interno quanto externo da organização. Objetivando transformar as interações em atividades para poder mensurar e assim mudar o paradigma da produção em massa para a produção customizada, onde o que antes era considerado ociosidade, perda, desperdício hoje possa, através de um processo de controle efetivo, estabelecer a real viabilidade de flexibilizar o processo produtivo na busca da eco-eficiência. Questões relacionadas com velocidade de *setup*, arranjo físico, sequenciamento de fabricação, interação com o meio ambiente dentre outros, passam a ser focos relevantes para estudo quanto ao custeio para que se dimensione as vantagens e desvantagens, no sentido de caracterizar o *trade off* entre eficiência e eficácia. A eficácia entendida como a introdução dos direcionadores para a eco-eficiência como condicionantes do arranjo físico.

Os aspectos ambientais deverão estar presentes desde o início na definição do arranjo físico, gerando parâmetros para sua realização e efetiva adequação. Ao se iniciar o processo de implantação de uma indústria, um dos problemas fundamentais a ser resolvido é a definição do local onde se instalará a indústria. A localização da indústria pode ser analisada em duas etapas: a macrolocalização e a microlocalização (BORBA, 1998).

A macrolocalização é a etapa mais ampla, pois visa definir a região onde se deverá implantar a indústria, levando em consideração fatores de ordem econômica, fatores de ordem

técnica, fatores de ordem ambiental e a comunidade que será diretamente atingida pela implantação da fábrica.

De acordo com BORBA (1998), os fatores de ordem econômica são matéria-prima, mercado, transporte e mão de obra. Do ponto de vista da higiene e segurança, as recomendações são:

- minimizar a probabilidade de ocorrer um acidente por manuseio e transporte;
- evitar distúrbios funcionais, intoxicações ou morte aos consumidores, no caso de serem percebíveis os produtos ou matérias primas;
- evitar que a empresa comece a operar sem que a mão de obra receba um treinamento de Segurança e Higiene Industrial.

Ainda por definição de BORBA( 1998) os fatores de ordem técnica são: água, energia, resíduos, comunicação, clima, leis e impostos. Em relação a estes itens, para garantir que os agentes não atuem sobre a integridade física e psíquica do homem, aconselha-se verificar a disponibilidade atual e futura, temperatura efetiva, variações sazonais, composição química, velocidade, direção e sentido do vento, leis e isenção de impostos. Os fatores de ordem ambiental são: água, ar, energia, resíduos, clima. Ou seja, abrangem os fatores técnicos e outros sob uma visão de integração ao meio ambiente visando a eco-eficiência na busca pela sustentabilidade de longo prazo.

Uma vez definida a região, parte-se para a escolha do local efetivo de implantação da indústria, definindo-se assim sua microlocalização. Nesta etapa prevalecerão os fatores técnicos. Para tal, a fim de evitar que condições inseguras surjam a partir das próprias características do terreno, deve-se analisar uma série de fatores. As condições inseguras poderão ser provenientes de: deslizamento de terra, deslizamento de pedras, riscos de inundação, dimensões insuficientes para atender as expansões futuras, não existência de água potável, não existência de meios de comunicação e de um sistema rodo-ferroviário, fluvial e

aéreo, não existência de um plano atual e futuro de coleta de lixo, transporte coletivo, esgoto sanitário.

Tendo especificado o terreno, a próxima etapa do processo de implantação de acordo com CARNEIRO (2001) é definir o arranjo físico mais adequado de homens, equipamentos e materiais sobre uma determinada área física, dispondo esses elementos de forma a atingir os seguintes objetivos: obter um fluxo eficiente de comunicações administrativas dentro da organização; obter um fluxo de trabalho eficiente; facilitar a supervisão; reduzir a fadiga do empregado no desempenho de sua tarefa (isolar ruídos, reduzir espaços desnecessários etc); impressionar favoravelmente clientes e visitantes; e aumentar a flexibilidade do arranjo físico para as variações futuras necessárias; para BORBA (1998) os objetivos do arranjo físico são minimizar os transportes, eliminar os pontos críticos da produção e suprimir as demoras desnecessárias entre várias atividades, diante destas colocações deve-se também considerar os meios de evitar os procedimentos agressivos ao meio ambiente tanto na implantação, no processo produtivo e principalmente na fase final com o tratamento adequado dos resíduos.

Diante do retratado inicia-se a caracterização do arranjo físico como ferramenta eco-eficiente, uma vez que o estudo do arranjo físico busca a otimização do processo produtivo e, para essa busca, trabalha com variáveis também consideradas pela eco-eficiência. Sendo assim, pode-se trazer o arranjo físico para integrar o rol das ferramentas eco-eficientes, de uma maneira bastante complexa de tal forma que o mesmo pode ser aplicado desde o planejamento da instalação de uma fábrica nova, em plantas de fábricas já existentes e também em plantas de estações de tratamento de resíduos industriais.

Segundo Monden (1984), a otimização do arranjo físico possibilita a eliminação de uma série de perdas existentes devido à movimentação e transporte de materiais e produtos, além de estimular o trabalho em equipe e facilitar o feedback de qualidade, gerando melhores

índices de qualidade e produtividade. No momento da eliminação de perdas o arranjo físico esta agindo como uma ferramenta eco-eficiente.

A execução do projeto do arranjo físico industrial deve estar alinhada às novas necessidades das empresas, criando um ambiente onde as modernas técnicas de produção possam ser implementadas, a fim de garantir o crescimento e sobrevivência do negócio. Como dito por Slack et al. (1997) de uma forma simples, definir o arranjo físico é decidir onde colocar todas as instalações, máquinas, equipamentos e pessoal da produção considerando os impactos ao meio ambiente, atendendo a legislação e observando as normas vigentes.

O arranjo físico é um estudo sistemático que procura uma “combinação ótima” das instalações industriais que concorrem para a produção, dentro de um espaço disponível. (OLIVÈRIO, 1985) Sua grande meta é harmonizar e integrar equipamento, mão de obra, material, áreas de movimentação, estocagem, administração enfim, todos os elementos existentes dentro de uma planta produtiva e aqueles que estão a sua volta, portanto sofrendo o impacto da sua instalação e funcionamento.

O conceito de “combinação ótima” é dependente, de forma direta, do critério de medida de eficiência adotado. O que se verifica nos últimos tempos é que os focos mais rotineiros como segurança, estética, fluxo racional, entre outros, deverão ser substituídos por um foco onde as integrações com o ambiente de forma customizada e sustentável passe a ser a meta. (DONAIRE , 1999).

Os tipos de processos de manufatura indicam cada um, uma forma diferente de organizar as atividades do processo produtivo.

Existem algumas técnicas, modelos para construção do arranjo físico, entre elas temos:

Procedimento de Apple (1977):

a) Apple (1977) propõe a seguinte seqüência de passos para a construção de um arranjo físico:

- Procure os dados básicos
- Analise os dados básicos
- Desenhe o processo produtivo
- Planeje o modelo padrão do fluxo de materiais
- Considere a movimentação geral do material
- Calcule o equipamento necessário
- Planeje estações de trabalho individuais
- Selecione o material específico de movimentação
- Coordene os grupos de operações ligadas
- Desenhe as atividades de inter-relacionamento
- Determine a necessidade de armazenagem
- Planeje serviços e atividades auxiliares
- Determine o espaço necessário
- Aloque as atividades para o espaço total
- Considere os tipos de construção
- Construa um arranjo físico mestre
- Cheque o arranjo físico com pessoas apropriadas para melhorá-lo
- Obtenha aprovação
- Instale o arranjo físico
- Acompanhe a implantação do arranjo físico

Ainda de acordo com Apple (1977) esses passos não necessariamente precisam ser seguidos nessa ordem.

b) Procedimento de Reed (1961):

- Analise o produto ou produtos a serem produzidos
- Determine os processos para fazer o produto

- Prepare o mapa de plano de arranjo físico
- Determine as estações de trabalho
- Analise as áreas de armazenagem
- Estabeleça a largura mínima dos corredores
- Estabeleça escritórios necessários
- Considere facilidades pessoais e serviços
- Examine a planta de serviço
- Projete para futuras expansões

Reed (1961) faz uma observação quanto à atividade que qualifica como a mais importante, a de preparar o mapa de plano de arranjo físico. Esta atividade incorpora:

1. Fluxo de processo, incluindo operações, transporte, armazenagem e inspeção.
2. Estabelecimento de tempos padrões para cada operação.
3. Seleção e balanceamento de máquinas e mão-de-obra.
4. Estabelecimento da necessidade de material.

c) Outro procedimento é o de Muther (1973), o qual utiliza o Diagrama de Inter-Relacionamento para determinar as prioridades de quais departamentos devem estar próximos.

d) Modelo de Tompkins: Tompkins et al. (1996) discute um modelo mais completo do processo de projeto de arranjo físico e o compara com o processo de projeto de um produto. Este modelo é flexível podendo ser aplicado tanto em um projeto de uma planta industrial como em uma empresa do setor de prestação de serviços. (GONÇALVES, 2001).

O Modelo de Tompkins para prestadoras de serviços pode ser visualizado no quadro 05, enquanto que a figura 16 demonstra o modelo de Tompkins para indústria.

Fase	Processo de projeto de um produto	Processo de projeto de uma planta	Passos no planejamento da planta
I	Defina o problema	1- Defina ou redefina os objetivos da planta. 2- Especifique as atividades primárias e de suporte.	1a - Entenda o modelo de sucesso da organização. 1b - Entenda as questões externas. 1c - Entenda as questões internas.  1 - Estabeleça critérios de projeto para o planejamento da planta.  2 - Obtenha um comprometimento organizacional.
II	Analise o problema  Gere alternativas  Avalie as alternativas  Selecione o projeto preferido	4- Determina o inter-relacionamento 5- Determine requisitos de espaço. 6- Gere planos alternativos de planta 7- Avalie os planos alternativos 8- Selecione o plano da planta	4 - Estabeleça limites 5- Avalie o estado atual 6- Identifique os objetivos específicos 7- Identifique caminhos alternativos 8- Avalie caminhos alternativos 9- Defina os planos de melhoria 10- Obtenha suporte para os planos de melhoria
III	Implemente o projeto	8- Implemente o plano 9- Mantenha e adote o plano da planta 10- Redefina os objetivos da planta	11- Implemente os planos 12- Verifique os resultados

Quadro 05 - Processo de projeto do arranjo físico para prestadores de serviços segundo Tompkins.

Fonte: TOMPKINS et al., 1996

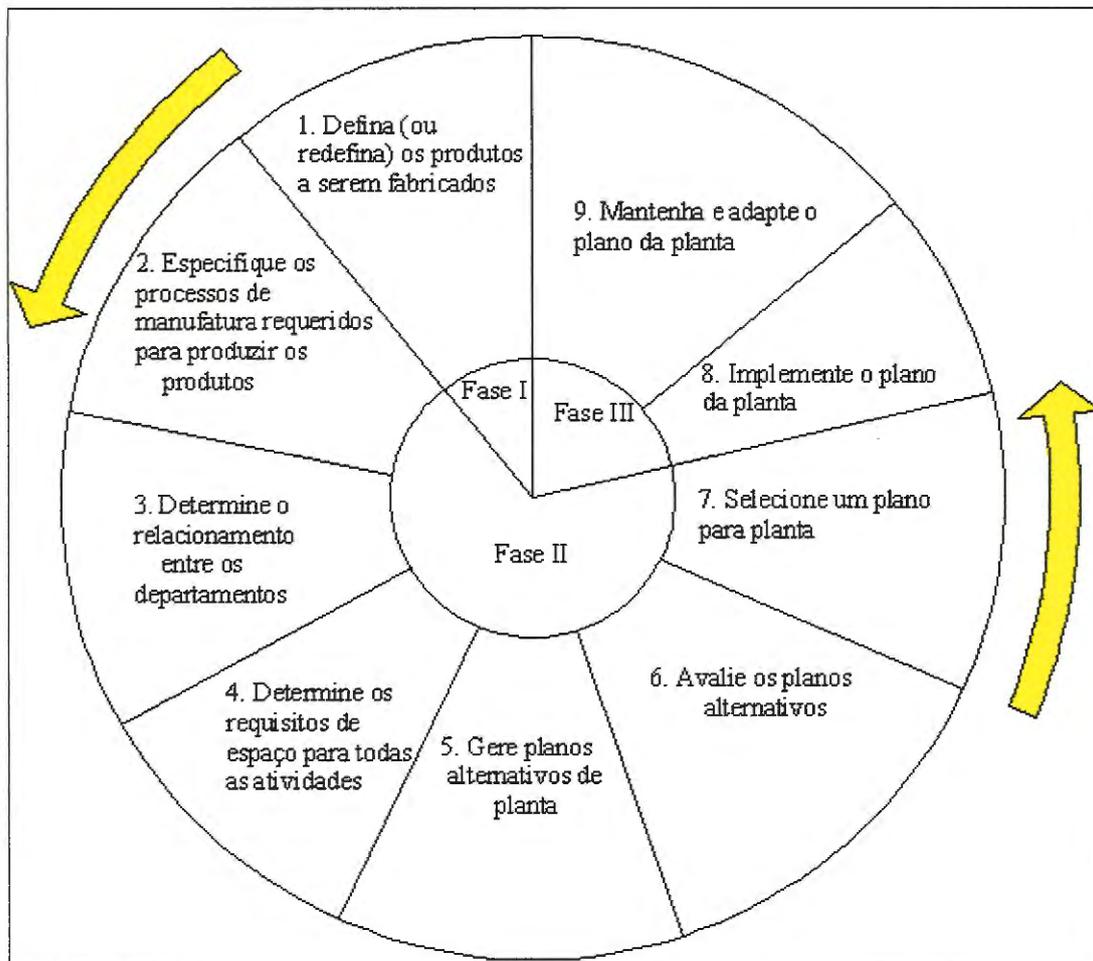


Figura 16 – Modelo de Tompkins para indústria  
 Fonte: Tompkins et al 1996

De acordo com Gonçalves (2001), o Modelo de Tompkins pode ser considerado bastante abrangente e flexível, pois não vincula tipos de arranjos físicos a produtos ou processos e permite desta forma uma grande flexibilidade quanto aos fatores que participam da construção do modelo.

Tompkins et al (1996) também evidência de forma singular as vantagens e desvantagens do arranjo físico em linha figura 17, que trata do objeto desta pesquisa.

Vantagens	Limitações
Simplicidade, lógica e um fluxo direto como resultado	Parada de máquinas resulta numa interrupção da linha
Pouco trabalho em processo e redução do inventário em processo	Mudanças no design do produto torna o layout obsoleto
O tempo total de produção por unidade é baixo	Estações de trabalho mais lentas que limitam o trabalho da linha de produção
A movimentação de material é reduzida	Necessidade de uma supervisão geral
Não exige muita habilidade dos trabalhadores	Resulta geralmente em altos investimentos em equipamentos
Resulta num controle simples da produção	Equipamentos para fins específicos precisam ser utilizados.

Figura 17 - Quadro representando as vantagens e limitações do arranjo físico em linha.  
Fonte: Tompkins et al, 1996.

O Arranjo Linear ou por Produto (*flow shop*) em lote (bateladas), como conceituado anteriormente, é um tipo de arranjo físico que tem disposição física voltada para o produto, e suas instalações são organizadas de acordo com sua seqüência de operações. Normalmente a planta inteira é desenhada exclusivamente para fabricação de um produto em particular onde são necessários equipamentos especializados agrupados em uma linha contínua.

Os custos e riscos dos equipamentos e ferramentas especializadas são altos, então os mesmos precisam ser operados por longos períodos de tempo de forma que o investimento possa ser amortizado. Normalmente os produtos são movimentados através de dispositivos como esteiras e correias suspensas, que são ajustadas para operar na velocidade mais rápida possível, independentemente das necessidades do sistema (BLACK, 1998).

Segundo DHONDT e BENDERS (1998), neste tipo de arranjo físico as atividades de planejamento e divisão de tarefas são centralizadas no responsável pela área. A possibilidade de qualificação dos trabalhadores é limitada, devido à grande divisão de tarefas e à transferência das habilidades de produção dos operadores para as máquinas.

Segundo Martins e Laugeni (1998) no arranjo físico em linha as máquinas são colocadas de acordo com a seqüência de operações e estas são executadas de acordo com a seqüência estabelecida sem caminhos alternativos. O material percorre um caminho previamente determinado dentro do processo.

O objeto estudo desta pesquisa é uma empresa beneficiadora de pele, conhecida como curtume. Neste tipo de processo produtivo se utiliza o arranjo físico em linha por batelada, uma vez que este é o mais adequado às características intrínsecas do processo produtivo do couro, como poderá ser visto em detalhe no próximo capítulo.

### 3.6 UMA CONFIGURAÇÃO ALTERNATIVA PARA O MODELO DE TOMPKINS CONSIDERANDO A ECO-EFICIÊNCIA

Mediante todas as constatações anteriores e visando a característica flexibilidade o modelo de Tompkins foi escolhido para a inclusão da variável meio ambiente, que ocorreu naturalmente.

A inclusão do meio ambiente como variável no modelo de Tompkins, visando gerar um processo produtivo eco-eficiente, utilizando o arranjo físico com as premissas das ferramentas eco-eficientes, deve ocorrer em dois momentos, conforme retratado na figura 40.

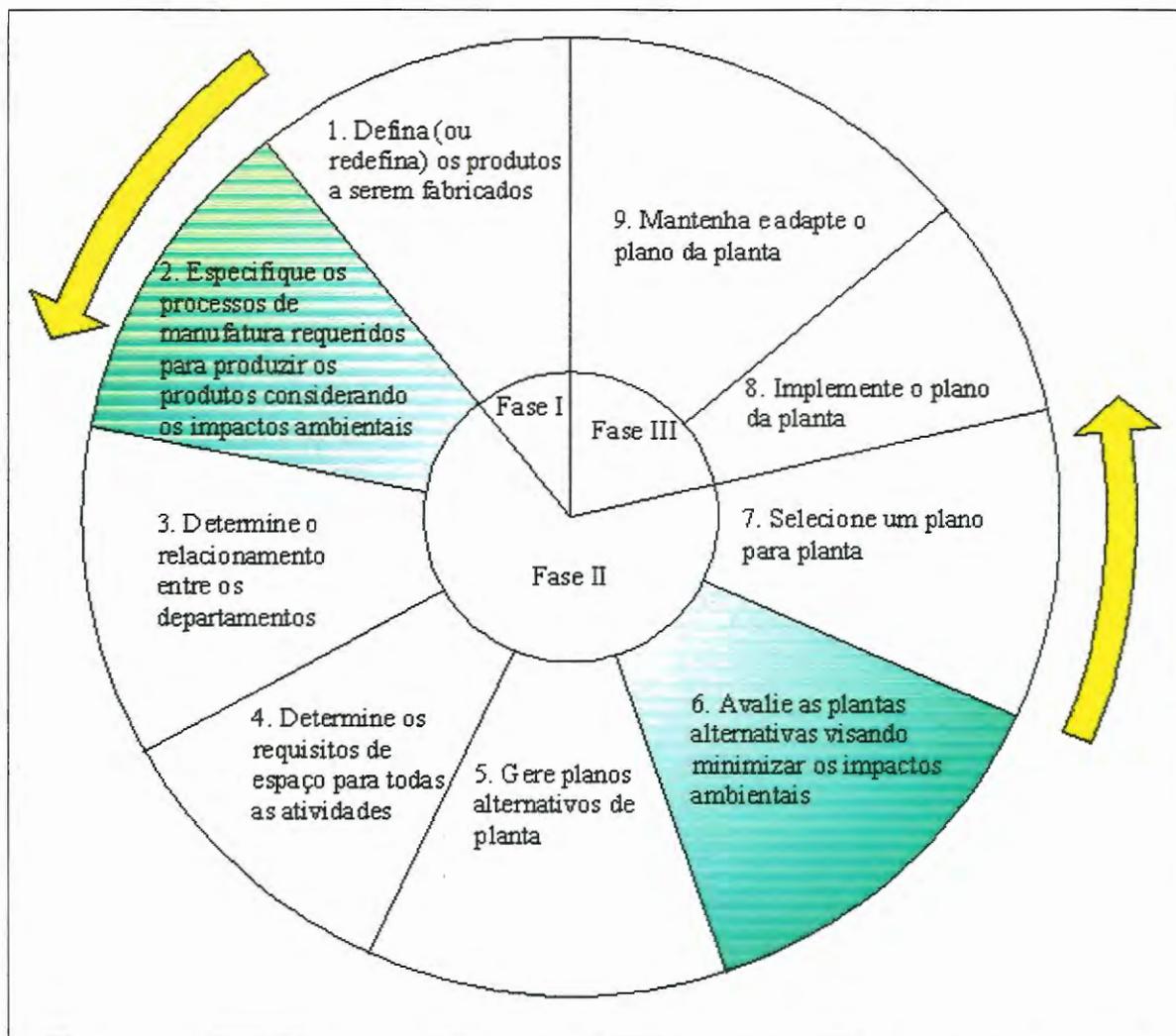


Figura 40 – Modelo de Tompkins Eco-eficiente. Modelo alterado de Tompkins para indústria agregando a variável meio ambiente.

Ao incluir a variável meio ambiente no item 2 do modelo de Tompkins – escolha do processo produtivo do produto – está se elevando a escolha do arranjo físico à condição de ferramenta eco-eficiente, pois neste momento a estratégia da empresa é que esta atuando para a melhor escolha do processo produtivo do produto onde se deverá estudar as formas de melhorias, otimização da utilização dos insumos, e minimização dos impactos ambientais, entre outros.

Essa postura se reforça na inclusão da variável meio ambiente no item 6 do modelo de Tompkins – avaliação dos planos alternativos. Pois neste momento, caso a planta já exista, cria-se a possibilidade de altera-la visando novamente a minimização dos impactos ambientais

através do arranjo físico como ferramenta eco-eficiente na busca do desenvolvimento sustentável, que é a pratica da estratégia traçada.

## 4. INDÚSTRIA DE PROCESSAMENTO DE COURO NA PARAÍBA

### 4.1 BREVE RETROSPECTIVA HISTÓRICA

No início da década de 1970, o Estado da Paraíba possuía cinco empresas industriais que processavam couro, quatro em Campina Grande e uma em João Pessoa. Em Pombal estava sendo implantada uma empresa coureira com caráter industrial. Enquanto isso outras cidades como Sumé, Picuí e Conceição possuíam curtumes artesanais.

Nessa mesma década o abate estava distribuído nos dez centros mais populosos da Paraíba, de forma que João Pessoa e Campina Grande se destacavam diante das demais cidades, conforme se pode observar na tabela 01 de "*Abate e População nas Dez Maiores Cidades da Paraíba*".(FIEPB)

Tabela 01 – Relação da população com o abatimento do gado bovino.

Cidades	População urbana (1)	Abate (2)
João Pessoa	213.495	22.567
Campina Grande	168.045	22.468
Patos	40.109	2.679
Santa Rita	30.653	4.667
Bayeux	34.681	-
Souza	30.262	3.381
Cajazeiras	24.934	166
Guarabira	23.196	1.943
Itabaiana	15.070	1.455
Sapé	15.819	1.686
Total	596.264	61.032

Fonte: site oficial da FIEPB – [www.fiepb.com.br](http://www.fiepb.com.br) – 2003.

Atualmente, a Paraíba, mais notadamente Campina Grande, além de ser um pólo de curtume regional, possui uma experiência tradicional na fabricação de calçados. Por causa destas condições, técnicos do Sebrae ( Serviço brasileiro de apoio as micros e pequenas empresas) asseguram:

“...que o governo do Estado vem desenvolvendo esforços para promover industrialmente o setor e atrair novos grupos empresariais para investir na Paraíba. Como resultado criou um novo Pólo Coureiro no distrito industrial da Catingueira, em Campina Grande, com a implantação de sete curtumes para a produção de luvas, raspas, camurções, etc.”

De acordo com dados referente ao denominado setor informal, do ponto de vista geográfico Campina Grande e Patos se destacam das demais cidades com 200 micro-indústrias cada uma, João Pessoa aparece com 30 e os demais municípios somados chegam a 100.

Em Campina Grande, os curtumes encontram-se às margens dos açudes, fontes supridoras de água. Desta forma, os gastos das empresas limitam-se às despesas de bombeamento e manutenção. O uso indiscriminado da água desses açudes – em Campina Grande: Açude Velo e Açude de Bodocongó – que recebem resíduos sanitários domésticos, industriais e até hospitalares, compromete a qualidade de suas águas, exigindo das indústrias um tratamento prévio para que possam ser utilizadas. Entretanto, também os próprios curtumes tem uma prática danosa ao meio ambiente:

“O escoamento das águas residuais de todos os curtumes em operação no Estado é feito de forma precária. As águas servidas são lançadas diretamente nos sangradouros dos açudes e na maré, sem qualquer tratamento prévio. Essas águas apresentam considerável quantidade de substâncias orgânicas solúveis e insolúveis além de substâncias inorgânicas, tais como: arsênico e cromo, a níveis de concentração que são perniciosos às vidas vegetal e animal.” (NAI-PB, 1973:s/pp)

Diante destas constatações, buscou-se um curtume da região para ser utilizado como foco de estudo. O curtume que permitiu a elaboração do estudo, com alteração do arranjo físico do processo, foi o existente dentro do Centro de Tecnologia do Couro e do Calçado Albano Franco – SENAI.

#### 4.2 EVIDENCIAÇÃO DO FOCO DA PESQUISA

**Dados de Identificação:** Razão Social: Centro de Tecnologia do Couro e do Calçado Albano Franco.

- CGC: 03.775.588/0003-05
- Rua: Luiz Mota, 200 Bodocongó – CEP.58.108-293 - Campina Grande - PB

O Centro de Tecnologia do Couro e do Calçado Albano Franco (CTCC) existe desde 1994 e, desde este ano, vêm se destacando no nordeste como referência em educação profissional e desenvolvimento de novas tecnologias do couro e do calçado. Ultimamente é referência em curtimento de peles exóticas, possuindo um laboratório piloto para testes, como também é destaque na região como possuindo o único Laboratório de análises físico-mecânica credenciado pelo INMETRO e credenciado pelo Ministério do Trabalho e Emprego.

O CTCC possui, no seu quadro funcional, 10 funcionários no setor produtivo que trabalham diariamente, totalizando 44 horas semanais. O sistema de produção funciona continuamente, apenas com paradas aos sábados, domingos e feriados. Atualmente, o curtume trabalha com uma produção de 4,5 t/dia de couro vacum.

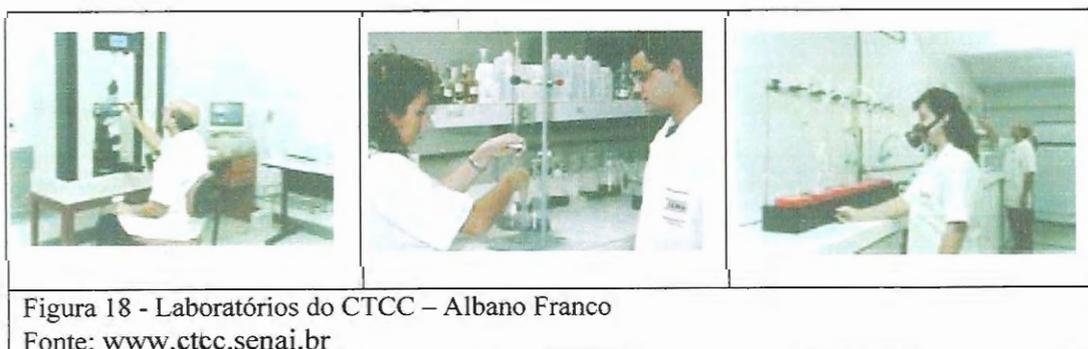
A política de fortalecimento do pólo coureiro-calçadista envolve a consolidação de outros setores da indústria e da agropecuária, desde a exploração da matéria-prima (bovino-ovino-caprino-cultura), passando pelo beneficiamento (curtumes), até chegar ao produto final. Esse segmento se afirma como forte indutor do desenvolvimento do Estado da Paraíba e tem

mostrado grande capacidade de atrair novos empreendimentos, tanto de pequenos empresários como de grandes grupos.

O CTCC, em Campina Grande, no Estado da Paraíba, dá suporte ao pólo coureiro-calçadista do Nordeste. Com uma área construída de 8.000m<sup>2</sup> é o primeiro centro de excelência implantado pelo Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial (SENAI) na Paraíba ([www.bnb.pb.br](http://www.bnb.pb.br)).

Atualmente com 400 empresas instaladas, a produção anual do setor é de 14 milhões de pares de calçados e 67 milhões de sandálias sintéticas, gerando oito mil empregos diretos. É importante ressaltar a articulação que existe entre as indústrias desse segmento e o CTCC.

Nessa área, o CTCC conta com plantas industriais (couro, calçados e vestuário) e com os laboratórios, para o desenvolvimento experimental de processos produtivos e produtos onde são realizados ensaios em produtos químicos e efluentes, pesquisas aplicadas aos níveis de qualidade e modernização das competências na produção, assim como a estudo de insumos apropriados (Figura 18, [www.ctcc.senai.br](http://www.ctcc.senai.br)).



Nesse sentido, os serviços prestados objetivam solucionar os problemas surgidos na produção das indústrias do couro, calçados e afins, na região do nordeste atendida pelos serviços do CTCC.

## 5. PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

A metodologia é conjunto sistematizado de procedimentos, conforme Ferrari (1974, p.24 e 25) é “racional e arbitrário de como atingir determinados resultados, e implica em utilizar de forma adequada a reflexão e a experimentação. Para tanto o seu instrumental é evocado pautando a orientação a ser seguida”. Nesse sentido, fez-se presente o estabelecimento de todo encaminhamento para que a pesquisa pudesse ser desenvolvida de maneira processual.

### 5.1 TIPOLOGIA DA PESQUISA

Em uma classificação com base em seus objetivos gerais, esta pesquisa possui características exploratórias, por descrever possíveis relações entre o arranjo físico e a eco-eficiência. Para Gil (1999), a pesquisa exploratória tem como objetivo proporcionar maior familiaridade com o problema, aprimorando idéias. Seu planejamento é, portanto, flexível, permitindo a consideração dos mais variados aspectos relativo ao fato estudado.

Mediante esta constatação, em um primeiro momento foi necessário se delinear o tema em torno de um fenômeno, nesse caso “**o arranjo físico como ferramenta eco-eficiente**”. Arranjo físico, enquanto conceito, é uma arbitrariedade estabelecida pelo gestor, de modo a definir uma adequada ferramenta de otimização dos recursos tempo e espaços, os quais, pela sua natureza e escassez, exigem tratamentos específicos e eficazes.

Para se perseguir esse universo temático não se deve abrir mão da fundamentação conceitual, que já está bem estabelecida nos manuais e compêndios, daí então se fez necessário uma busca com maior profundidade na literatura especializada, pelo delineamento

da pesquisa que Ferrari (1974, p. 212), aponta como sendo uma pesquisa bibliográfica, pois “tem a finalidade, conhecer as contribuições científicas que se efetuaram sobre um determinado assunto” e para Best (1972), descritiva, pois vai delinear o que é abordando quatro aspectos: descrição, registro, análise e interpretação de fenômenos atuais, objetivando o seu funcionamento.

Na contemporaneidade, não se pode assumir que essa pesquisa está profundamente abastecida pela rede mundial de computadores. No ciberespaço, estão sendo disponibilizados cada vez mais trabalhos sobre o tema – sejam eles de ordem do “vulgar” ou “científico”. Isso permitiu trafegar não apenas no mundo dos conceitos, mas também no mundo dos trabalhos científicos que estão sendo disponibilizados pelo conjunto de periódicos de bibliotecas virtuais dos programas de pós-graduação, no Brasil e no mundo.

Num outro momento, se teve a precaução de transformar o tema em um enunciado de forma interrogativa, como aponta Kerlinger (1973, p. 36), que “um problema de pesquisa científica em primeiro lugar é uma questão, uma sentença de forma interrogativa”, assim sendo, foi levantado o seguinte enunciado: **o arranjo físico como uma ferramenta eco-eficiente minimiza o impacto ambiental do processo produtivo do curtume?**

Dando prosseguimento ao que foi anunciado por Ferrari (1974) sobre a questão a que se refere à orientação da pesquisa, continuou-se a estruturar os procedimentos tomando como agente de continuação estrutural o estabelecimento do objetivo geral, qual seja: **avaliar o arranjo físico de processo produtivo de curtume como eco-ferramenta que minimiza o impacto ambiental.**

Após a construção desses dois pilares, surge a necessidade imperiosa de uma resposta ao problema, cujo teor é caracterizado como hipótese, sendo ela: **a alteração de um arranjo físico tradicional em um arranjo físico eco-eficiente contribui para a minimização do impacto ambiental.**

Com essas referências, se dá todo o encaminhamento da pesquisa que se volta apenas para a compreensão do problema a partir de descrições minuciosas. Kerlinger (1973) aponta que nesse tipo de “pesquisa não é possível manipular as variáveis ou designar sujeitos ou condições aleatoriamente”, pois se procurou tão somente explorar as relações entre o arranjo físico e a eco-eficiência sem necessariamente intervir no ambiente, apenas por considerações qualitativas no que se refere ao processo produtivo.

## 5.2 ESCOPO DA PESQUISA

Após essa necessária estruturação, foi pertinente buscar um lugar real que contém um processo produtivo com um arranjo físico que pode ser referência para uma crítica, tendo como parâmetro a eco-eficiência enquanto ferramenta produtiva que minimiza o impacto provocado pelo material residual do curtume. O cenário real para o desenvolvimento do estudo de caso foi resultado de escolha intencional da empresa, pois se estabeleceu os seguintes critérios:

- a- Empresa localizada no Estado da Paraíba, para facilitar a visita e a aplicação do estudo, como também, por limitações de tempo e recursos.
- b- Empresa cuja atividade é tipicamente a curtição da pele animal.
- c- Possibilidade de acesso à empresa e às informações necessárias, sendo esse um dos fatores limitantes do uso do estudo de caso.

O escopo proposto para esta pesquisa retratará o processo produtivo do curtume do Centro Tecnológico do Couro e do Calçado Albano Franco, com ênfase no levantamento do arranjo físico e na obtenção dos dados mensurados com relação aos insumos utilizados no processo, efluentes gerados e sensíveis ao meio ambiente, bem como a produtividade obtida

no período de junho de 2003 a junho de 2005, perfazendo 25 meses corridos. No período posterior à alteração do arranjo físico tradicional para o arranjo físico eco-eficiente, novamente foram considerados por 23 meses, os resultados da mensuração dos insumos utilizados no processo, efluentes gerados e sensíveis ao meio ambiente e a produtividade, permitindo, desta forma, a análise da efetiva evolução para a eco-eficiência quando da utilização do arranjo físico ecoeficiente como ferramenta na busca do desenvolvimento sustentável.

Conforme definido por Yin (2001, p.32) o estudo de caso é uma investigação empírica em que se “investiga um fenômeno contemporâneo dentro do seu contexto da vida real, especialmente quando os limites entre o fenômeno e o contexto não estão claramente definidos”. O método do estudo de caso, na prática, visa pesquisar eventos da vida real que não possam ser desvinculados de seu contexto mais amplo.

Em geral, os estudos de caso representam a estratégia preferida quando se colocam questões do tipo “como” e “por que”, quando o pesquisador tem pouco controle sobre os eventos e quando o foco se encontra em fenômenos contemporâneos inseridos em algum contexto da vida real. Ainda segundo Yin (2001, p. 27), o estudo de caso “conta com muitas das técnicas utilizadas pelas pesquisas históricas, mas acrescenta duas fontes de evidências que usualmente não são incluídas no repertório de um historiador: observação direta e série sistemática de entrevista”.

A possibilidade de se utilizar de várias fontes de evidência é considerada uma das particularidades e vantagens da pesquisa baseada em estudos de caso. Nessa perspectiva Goode e Hatt apud Lazzarini (1995, p.17) afirmam:

“...embora não seja possível identificar o método do estudo de caso como uma técnica particular de obter dados, é um modo de organizar os dados em uma determinada unidade escolhida, como a história de vida de um indivíduo, a história de um grupo, ou um processo social delimitado.”

Sob este mesmo enfoque, Yin (2001, p.34) discorda da simples qualificação do estudo de caso como método qualitativo. Segundo o autor, estudos de caso podem ser feitos tanto por meio do uso de evidências qualitativas quanto de evidências quantitativas. O estudo de caso, de uma maneira geral, é mais usado quando se deseja:

- descrever um contexto de vida real no qual uma intervenção ocorreu;
- explicar ligações causais em intervenções ou situação da vida real, que são complexas demais para tratamento, por meio de estratégias experimentais ou de levantamentos de dados;
- avaliar uma intervenção;
- avaliar uma intervenção em curso e modificá-la com base em um estudo de caso ilustrativo;
- explorar aquelas situações nas quais a intervenção não há clareza no conjunto de resultados.

Ainda quanto à adequação do método, o estudo de caso “é aplicável para situações onde o problema de pesquisa é abrangente, complexo e não pode ser analisado fora do seu contexto” (LAZZARINI, 1995), justificando sua escolha para esta pesquisa, cuja intenção é estudar algo complexo e fortemente influenciado pelo seu contexto com o meio ambiente. Desta forma, esta pesquisa trata de um tema contemporâneo em seu contexto real, cujos aspectos relevantes não podem ser controlados e a fronteira entre contexto e tema não pode ser claramente definida.

Ao comparar o estudo de caso com a pesquisa histórica, Lazzarini (1995) afirma que o primeiro lida com eventos contemporâneos, se tornando mais adequado que a análise histórica devido à abrangência de maior variedade de evidências.

Segundo Eisenhardt (1989), um estudo de caso combina métodos de coleta de dados como arquivos, entrevistas, questionários e observações, levantando evidências qualitativas e quantitativas. O estudo, desenvolvido nesta tese, utiliza métodos semelhantes de coleta de dados, baseando-se em análises de arquivos da empresa estudada, dados de arquivos dos fornecedores de insumos, observações diretas abertas e sistemáticas e entrevistas não-estruturadas, sempre procurando fundamentar a investigação de evidências quantitativas e objetivas.

Assim, o estudo de caso pode ser considerado como um método de pesquisa hábil e sensível para analisar um evento inserido num contexto mais amplo, trazendo benefícios para a pesquisa (LAZZARINI, 1995).

A partir da determinação do cenário, foi necessária uma aproximação com os gestores da entidade que seria observada. Essa aproximação permitiu por em prática as ferramentas descritas por Eisenhardt (1989) como métodos de coleta de dados, assim como as entrevistas não estruturadas descritas por Lakatos (1991, p. 85), que estabelece como sendo as entrevistas onde o entrevistado tem liberdade para desenvolver a situação na direção por ele definida como adequada. Assim, pode-se explorar mais amplamente uma questão. Ainda sobre a entrevista não estruturada, Garcia (1978, p. 330) a coloca como sendo um “meio mais assíduo de aprendizado”. Ainda esse autor anuncia que a conversa deva ser dirigida para que seja transformada em inquérito ou entrevista, a fim de aproveitar a experiência alheia como depoimento ou testemunho.

Várias foram as visitas feitas ao curtume em que a pesquisa se realiza, a direção da entidade abriu não apenas suas portas como autorizou ao corpo técnico que fornecesse todo tipo de informações solicitadas, haja vista o protocolo de troca de informações assinado entre a entidade de pesquisa e a produtiva. Apesar de o aparato jurídico estar aparentemente resolvido no que tange ao fornecimento de informações, pôde-se sentir certa resistência por

parte de técnicos da entidade no fornecimento de algumas informações solicitadas, fundamentalmente no que se refere ao arranjo físico em que está estabelecido o processo produtivo do curtume em apreço.

Muitas visitas foram realizadas ao curtume, e aos poucos, as conversas com um ou outro técnico, as informações foram sendo fornecidas, até o momento em que, na última visita feita, o diretor geral permitiu fotografar o local. Nessa última visita, houve a necessidade antecedente de se estruturar os questionamentos, para que se processasse a coleta de informes com caráter de dados, assim como a utilização de equipamentos de registros, haja vista, a possibilidade de adquirir o maior número de informações não conseguidas até então. Foi então utilizado equipamento fotográfico digital para registrar o maior número possível de imagens e depois, no processamento, a extração de informes como desenhos e outras informações até então não fornecidas; gravador de mão para registrar as informações fornecidas ao longo de conversas entremeadas de questionamentos dantes estruturados.

Imagens colhidas como as demonstradas a seguir permitiram ver o que está anunciado como sendo o arranjo físico dos equipamentos do processo produtivo e da ETE (estação de tratamento de efluentes), assim como seu entorno. Nesse sentido é que percebeu-se a necessidade de aprofundamento técnico com fotografia de imagens já estabelecidas e, num outro momento mais adequado, através da captura de imagens dos processos produtivos em si, pode-se sentir a contribuição do que Garcia (1978) aponta como testemunho do que está posto como situação real. A figura 19 denota a planta do CTCC que fica localizada na entrada do curtume. As figuras 20, 21 e 22 denotam situações do curtume em estudo.

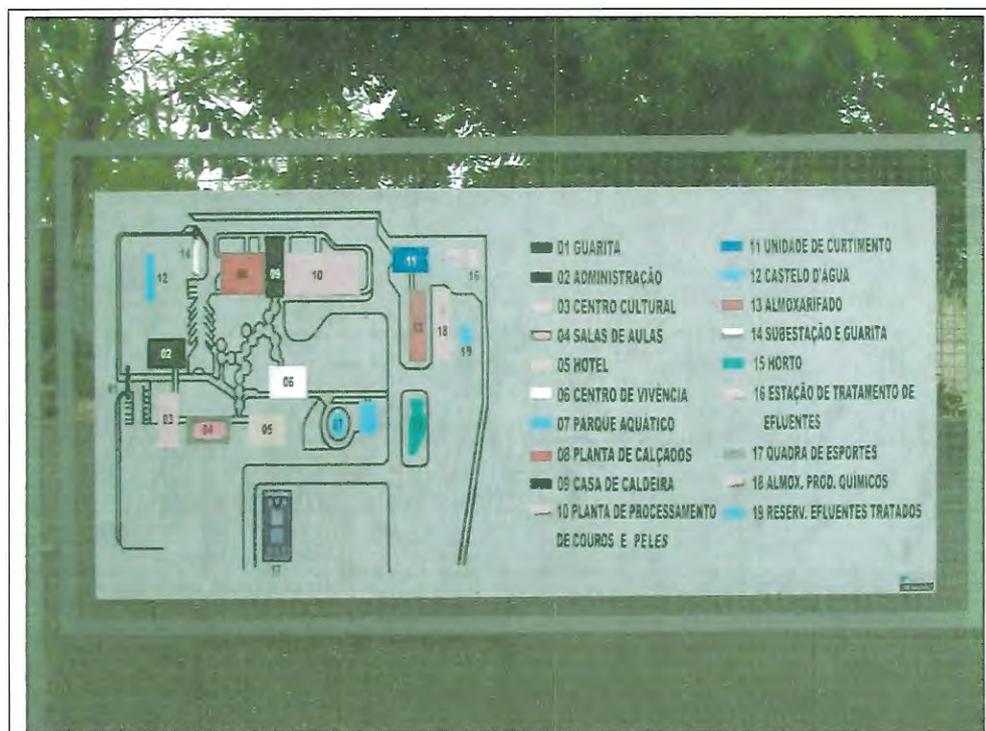


Figura 19 - Planta de Orientação aos visitantes do Centro Tecnológico do Couro e do Calçado Albano Franco – Campina Grande – PB.



Figura 20 – Fulão na linha de produção.

Figura 21 - Esgotamento sanitário que vazou.

Figura 22 - Lagoas de decantação.

O volume de imagens coletados permitiu elaborar o desenho de como está estabelecido o arranjo físico da entidade em tela, pois foram feitas imagens tanto do nível horizontal, no solo, como também de cima da caixa d'água (figura 23), que permitiu uma visão do alto, que se encontra dentro do sistema produtivo. As imagens coletadas do alto permitiram uma leitura ambiental, ou seja, do sistema produtivo e de sua vizinhança (figura 24), possibilitando proceder à crítica da relação produtiva eficiente sem o enfoque ecoeficiente.



Figura 23 – Caixa d'água do curtume.



Figura 24 – Vizinhança do curtume.

Os dados colhidos in loco sobre os insumos utilizados no processo produtivo com efetivos impactos ambientais para análise, visando demonstrar a evolução para a eco-eficiência quando da utilização do arranjo físico eco-eficiente como ferramenta na busca do desenvolvimento sustentável, foram analisados com a utilização de um teste não-paramétrico.

Foi utilizado o teste não-paramétrico de Mann-Whitney U. Para Levin (1987), o teste não-paramétrico de Mann-Whitney U é utilizado para avaliar se duas amostras podem ser consideradas como sendo provenientes da mesma população, ressaltando ainda que, na medida em que o tamanho das amostras se aproxima de 30, a distribuição de U tende rapidamente à normalidade.

Stevenson (1986) considera que o teste não-paramétrico de Mann-Whitney U pode ser utilizado para testar se duas amostras provêm de populações que possuem médias iguais.

Os procedimentos estatísticos inerentes à execução do teste não-paramétrico de Mann-Whitney U foram realizados através do auxílio do aplicativo estatístico *STATISTICA for Windows*.

## 6 ESTUDO DE CASO

### 6.1 CENÁRIO DE PESQUISA

O curtume foco deste estudo é um curtume do tipo integrado que utiliza, no seu processo produtivo, a matéria prima denominada de couro vacum (salgada), com produção diária de 4.500 kg = 4,5 t, totalizando ao mês 99.000 kg = 99 t, ao ano: 1.188.000 kg = 1.188 t, com um peso médio de pele vacum de 25 kg. Quanto aos produtos auxiliares à produção, os mesmos são utilizados conforme a tabela 02.

PRODUTO	CONSUMO DIA EM Kg	CONSUMO MÊS EM Kg	CONSUMO ANO EM Kg
Tensoativo	13,5	297	3.564
Enzima Pancreática	4,5	99	1.188
Sulfeto de Sódio	45	990	11.880
Amina	45	990	11.880
Cal	144	3.168	38.016
Ácidos Orgânicos	4,5	99	1.188
Sulfatos	99	2.178	26.136
Ácidos Inorgânicos	63	1.386	16.632
Sal	225	4.950	59.400
Sulfato de Cromo	247,5	5.445	65.340
Álcalis	36	792	9.504
Bactericida	4,5	99	1.188
Fungicida	4,5	99	1.188
Corantes	180	3.960	47.520
Neutralizantes			
Sais Orgânicos	45	990	11.880
Recurtentes			
Taninos vegetais	270	5.940	71.280
Amaciantes			
Óleos Sintéticos	135	2.970	35.640
Óleos Sulfatados ou Sulfitados	135	2.970	35.640
Óleos Crus	45	990	11.880
Fixadores			
Ácidos Orgânicos	180	3.960	47.520

Acabamento			
Pigmento	43,2	950,4	11.404,8
Resina Compacta	172,8	3.801,6	45.619,2

Tabela 02 – Demonstrativo dos insumos do curtimento de couro vacum.  
 Fonte: [www.ctcc.senai.br](http://www.ctcc.senai.br)

O processo produtivo do couro utiliza o insumo água em toda a extensão da linha de produção, assim como o insumo energia elétrica e produtos químicos que, misturados à água são geradores de efluentes tóxicos. Esta água, acrescida com os produtos químicos utilizados no processo e que não reagiram completamente durante o processamento, gera efluentes com alto poder de contaminação e degradação do meio ambiente (STREIT ET AL., 2005).

No processo de curtimento da pele animal em geral, o volume de água utilizada varia, segundo tecnologia utilizada, de 20 a 40 m<sup>3</sup> por tonelada de pele processada (AQUIM ET AL., 2004). Essas variações podem ser determinadas pelo artigo final a ser obtido, técnicas adotadas, tendências da moda, entre outros. Além do volume de efluente gerado, a concentração de poluentes também sofre variações consideráveis.

Pelos parâmetros apontados por Streit et al. (2005), tem-se, que em média, se utiliza 0,9 m<sup>3</sup> de água por pele processada. Considerando-se que uma pele inteira de boi, em média, pesa 30 kg, somente no Rio Grande do Sul, portanto, que processou no ano de 2004 cerca de 34,5 milhões de peles animais foi consumido, no ano, 31,05 bilhões de m<sup>3</sup> de água. Distribuindo estes 31 bilhões de litros de água pelo número de habitantes do mesmo Estado, 10.512.283 de pessoas, têm-se o equivalente a 2.949 litros por pessoa por ano ou 8,1 litros por pessoa por dia. Utilizando o recomendado pela Organização Mundial de Saúde, 20 litros por pessoa por dia, como parâmetro, percebe-se claramente que o consumo da indústria curtidora representa mais de 40% do mínimo sugerido para as necessidades humanas básicas, dando uma real dimensão do consumo de água do setor.

Os curtumes são normalmente classificados em função da realização parcial ou total das etapas do processamento das peles, sendo assim tem-se:

- Curtume integrado: capaz de realizar todas as operações desde o couro cru (pele fresca ou salgada) até o couro totalmente acabado.
- Curtume de “wet-blue”: que processa desde o couro cru até o curtimento ao cromo ou descanso/enxugamento após o curtimento.
- Curtume de semi-acabado: utiliza o couro “wet-blue” como matéria-prima e o transforma em couro semi-acabado, também chamado de “crust”.
- Curtume de acabamento: transforma o couro “crust” em couro acabado. Os curtumes que processam “wet-blue” até o seu acabamento também podem aqui ser incluídos.

Dentro de um curtume integrado, tal qual o curtume objeto de estudo desta tese, o processamento do couro segue normalmente três etapas conhecidas por ribeira, curtimento e acabamento sendo este usualmente dividido em acabamento molhado, pré-acabamento e acabamento final. As etapas definidas como molhadas podem ser visualizadas na Figura 25.

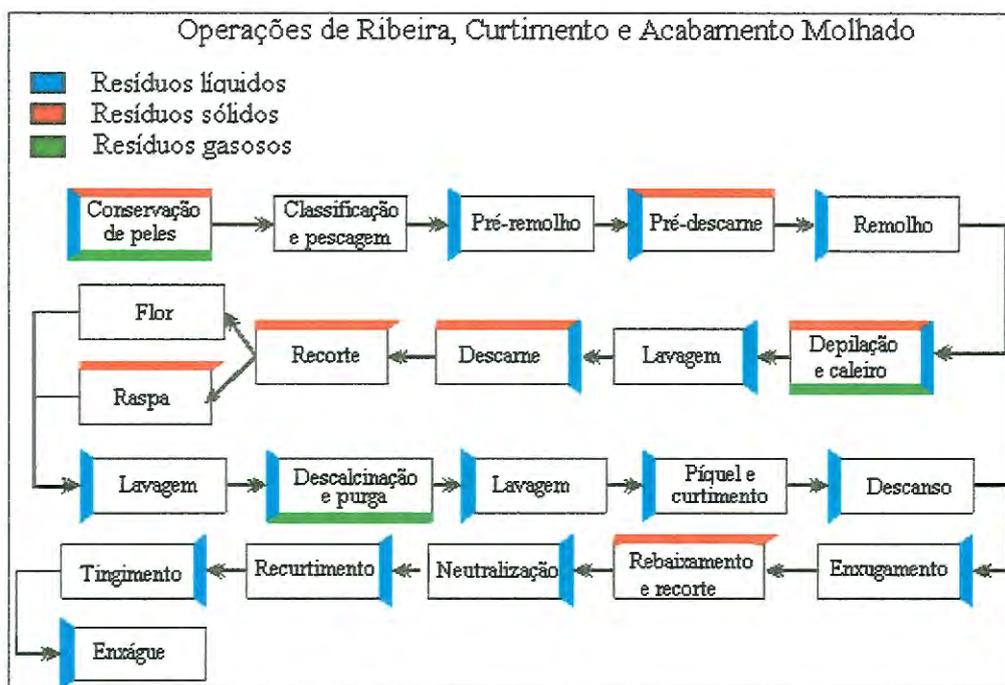


Figura 25 - Fluxograma da fabricação de couro, operações de ribeira, curtimento e acabamento .  
Fonte: CLAAS e MAIA, 1994.

Como pode ser verificado na figura 25, no processo de ribeira, curtimento e acabamento molhado se tem a emissão de efluentes líquidos praticamente em todas as fases, ocorrendo, desta forma, enorme utilização do insumo água e grande volume de efluentes líquidos altamente tóxicos.

Na figura 26 se apresentam as fases do processamento do couro conhecidas como acabamento final, que são predominantemente mecânicas, gerando resíduos líquidos, gasosos e sólidos, mas sem a importância em volume, no que tange a resíduos líquidos (efluentes), como as fases anteriores.

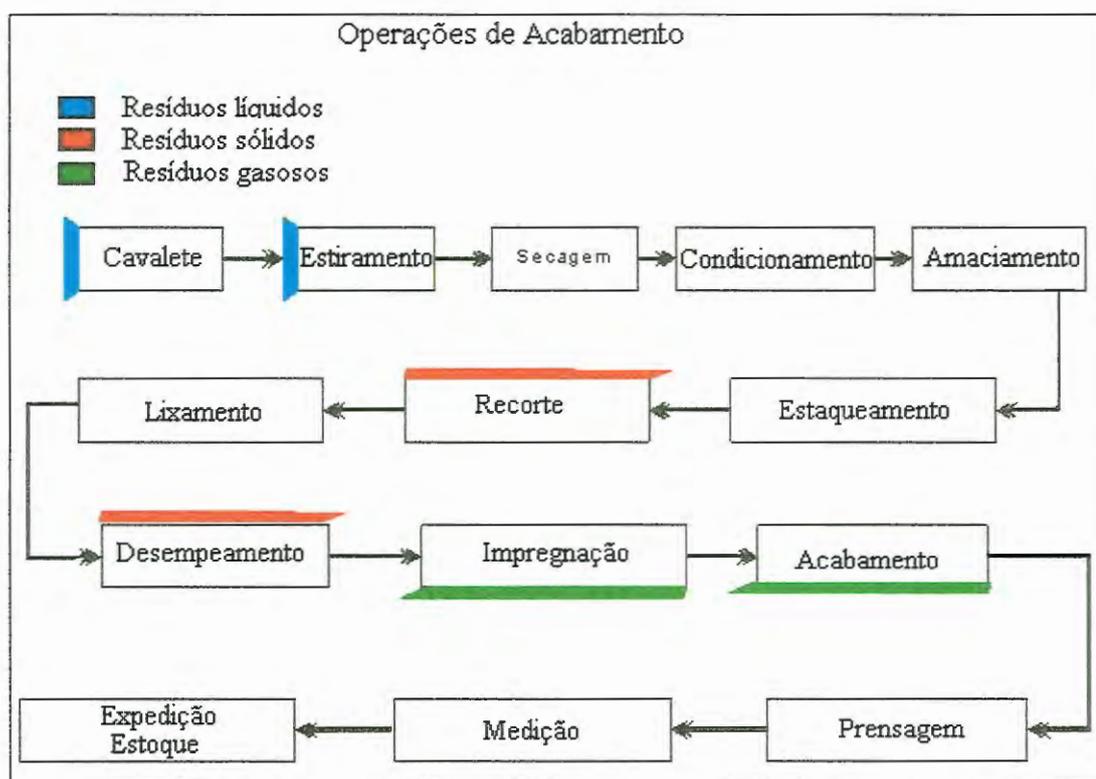


Figura 26 - Fluxograma esquemático da fabricação de couro – operações de acabamento.  
Fonte: CLAAS e MAIA, 1994.

Nos curtumes, devido ao tempo de processo ser longo, é comum existir vários fulões<sup>1</sup> na área de produção, cada um deles processando uma determinada carga de peles.

<sup>1</sup> O fulão consiste em uma máquina que gira de em torno do próprio eixo na horizontal com a função de misturar bem a pele com a água e os produtos necessários a execução do processo de curtimento do couro.

Pode-se ter um fulão para cada parte do processo produtivo, ou mais de um fulão para cada parte do processo produtivo dependendo da demanda, mas na maioria das vezes haverá no mínimo três fulões, um para cada um dos processos de ribeira, de curtimento e de acabamento molhado, respectivamente. Isso ocorre, pois a pele ao ser processada, só sairá de um fulão para o outro após ter terminado uma etapa toda do processo.

Durante cada uma das etapas, apenas a água utilizada como solvente é que entrará limpa e sairá do fulão acrescida de resíduos orgânicos e produtos químicos que resultam de cada um dos banhos que o processo de produção estará realizando na pele para transformá-la em couro. As peles, após passarem pelas três etapas (ribeira, curtimento, acabamento molhado), serão levadas, no final, para a etapa do enxugamento, que trata da parte mecânica do processo realizada em máquinas de enxugar, de esticar, de lixar e de prensar.

Como se observa principalmente na figura 25, no processo de fabricação de couros são produzidos resíduos que podem ser removidos como sólidos, que são transferidos para a atmosfera como gasosos ou material particulado, ou veiculados com os despejos líquidos (efluentes) do curtume. De acordo com o Centro Tecnológico do Couro do SENAI, o consumo total médio atual do setor brasileiro está estimado em 25 a 30 m<sup>3</sup> água por tonelada de pele salgada – cerca de 630 litros de água por pele salgada, em média. Assim, um curtume integrado de processo convencional que processe 3.000 peles salgadas por dia (de porte médio), consumiria, em média, aproximadamente 1.900 m<sup>3</sup> água/dia, equivalente ao consumo diário de uma população de cerca de 10.500 habitantes, considerando-se um consumo médio de 180 litros de água/habitante/dia. Desta forma, verifica-se que água é um insumo importante na operação dos curtumes (na formulação dos banhos de tratamento e nas lavagens das peles) e, dependendo da sua produção e do local onde opera, o impacto de consumo nos mananciais da região se torna significativo.

A energia consumida pelos curtumes, assim como outros insumos, depende de vários aspectos como tipo, capacidade e quantidade de produção, tipo e estado dos equipamentos, tipo de tratamento de efluentes, entre outros. Assim, a faixa de variação de consumo é muito ampla, podendo variar entre 2.600 a 11.700 kWh por tonelada de peles salgadas. Um dos pontos importantes deste consumo está na utilização da energia térmica necessária para processos como secagem dos couros e obtenção de água quente ou aquecimento dos banhos de processo, assim como nos equipamentos da estação de tratamento de efluentes, notadamente onde há processos aeróbios, com agitação vigorosa e nos fulões.

A CETESB (Companhia de Tecnologia e Saneamento Ambiental), em estudo no setor coureiro, determinou que o volume total de efluentes líquidos gerados pelos curtumes normalmente é similar ao total de água captada. Porém, em termos de vazões efetivas de geração e de lançamento para fora dos curtumes (regime de geração e de lançamento), estas dependem dos procedimentos operacionais da estação de tratamento de efluentes (ETE) - também denominada sistema de tratamento de águas residuárias (STAR) - de cada curtume.

A geração de efluentes líquidos nas operações de ribeira até a etapa de purga são responsáveis por aproximadamente 70% do volume de despejos líquidos, cabendo ao pré-curtimento, curtimento e acabamento os 30% restantes. As etapas do tratamento da água residuária do processo podem ser visualizadas na Figura 27.

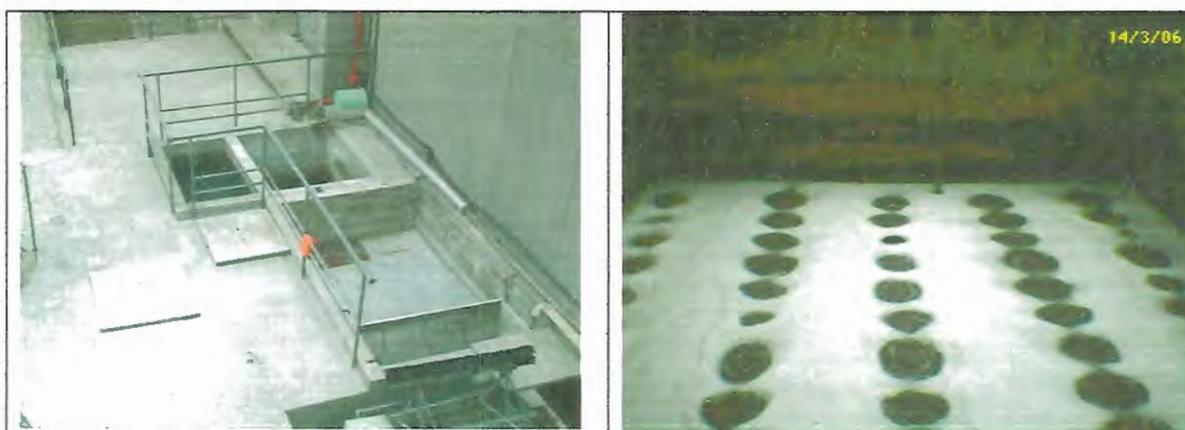




Figura 27 - Estação de Tratamento de efluentes.

Os parâmetros médios de um efluente líquido homogeneizado, após peneiramento, de uma indústria que processa curtimento ao cromo, não recicla banhos residuais e procede à oxidação do sulfeto, demonstram o quanto o processo produtivo é agressivo ao meio ambiente, pois enquanto ele apresenta valores de concentração de pH de 7,5, sedimentos sólidos de 90,0mg/l, um DQO<sup>4</sup> e um DBO<sup>5</sup> de 7250 e 2350 mgO/l respectivamente, cromo total de 94 mg/l e sulfeto de 26 mg/l (CTCC – SENAI), os parâmetros definidos como aceitáveis, nos seus valores máximos, pela Resolução CONAMA 357/2005<sup>2</sup>, são de DQO<sup>3</sup> de no máximo 10mg/LO, Cromo de 0,05mg/L e Sulfeto de 0,3mg/l. Ou seja, as águas das operações de ribeira são fortemente alcalinas e esbranquiçadas (cal em excesso) e contêm sebo, pêlos, tecido muscular, gordura e sangue (DBO)<sup>4</sup>, em suspensão. Em solução, sais (principais ânions - sulfeto, sulfato, cloreto; principais cátions - sódio, cálcio, amônio), proteínas e aminoácidos diversos, em menor quantidade, tensoativos (detergentes), aminas e eventualmente alguns conservantes ou biocidas e inseticidas (produtos orgânicos) (DQO), agredindo substancialmente o ambiente.

<sup>2</sup> A CONAMA 357/2005 dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências.

<sup>3</sup> Demanda Química de Oxigênio.

<sup>4</sup> Demanda Biológica de Oxigênio.

Os efluentes líquidos provenientes das operações de píquel e curtimento contêm, principalmente, sal (cloreto de sódio), ácidos minerais (sulfúrico, clorídrico), orgânicos (lático e fórmico), cromo e/ou taninos (orgânicos polifenólicos), proteínas e eventualmente, alguns fungicidas (orgânicos aromáticos), em pequenas quantidades. São águas turvas, de cor verde escura (curtimento ao cromo) como pode ser visto na Figura 28, ou castanhas (curtimento por taninos), que apresentam pH ácido, podendo ter altas concentrações de DQO e DBO, conforme o curtente utilizado. No caso do curtimento ao cromo, as concentrações são bastante superiores as aceitáveis conforme descrito anteriormente. E, apesar do cromo ser utilizado na valência 3, que não gera maiores restrições, o risco da sua presença na valência 6, que supostamente possui propriedades cancerígenas, vem exigindo estudos constantes para sua minimização máxima, e estes estão centrados no aperfeiçoamento do processo (FONT ET AL., 2006).



Figura 28 - Águas residuárias do processo de curtimento nas situações a e b.

As principais águas residuais das operações de acabamento molhado ou pós-curtimento e de acabamento, normalmente apresentam certo teor de cromo (do enxugamento e por vezes, do recurtimento), sais diversos (da neutralização), cores diversas, devido aos corantes utilizados (do tingimento), muitos à base de anilina, azo-corantes e temperatura mais elevada. Outras operações existentes nessas nas etapas de curtimento e recurtimento e acabamento molhado não apresentam efluentes líquidos ou estes são pouco significativos.

Diante disso, fica evidente que a fase de **ribeira**, até a etapa anterior ao curtimento (purga), é a responsável pela maior parte das cargas poluentes e tóxicas dos efluentes de curtumes. Por exemplo, o sulfeto, presente nos efluentes da ribeira, é mais tóxico para o ser humano do que o cromo do curtimento, considerando que este está na sua forma trivalente. A sub-etapa principal contribuinte para este alto potencial poluidor da ribeira é a depilação/caleiro. Tomando-se o dado médio para DBO (cerca de 67 kg/t de pele), e considerando-se um peso médio de 25kg por pele salgada e uma carga orgânica média de esgoto doméstico de 54g DBO/habitante/dia, o potencial poluidor de carga orgânica biodegradável de um curtume integrado, que processe 3.000 peles/dia, seria equivalente ao de uma população de cerca de 85.600 habitantes. Assim, vê-se que o impacto ambiental potencial dos efluentes líquidos é significativo.

Além da carga poluidora em si, caso certos cuidados operacionais não sejam tomados, os efluentes líquidos dos curtumes que realizam a ribeira podem apresentar problemas de odor devido à formação de gás sulfídrico, proveniente do sulfeto, o que pode causar incômodos à população no entorno. Portanto, os curtumes normalmente possuem estações de tratamento desses efluentes (controle via tratamento “fim-de-tubo”), visando minimizar seus impactos ambientais e atender à legislação vigente.

A partir dos parâmetros citados para análise dos efluentes líquidos, verifica-se facilmente que os curtumes são indústrias de processamento, beneficiamento de peles animais que, através de um processo de curtimento ao cromo, produzem, durante seu processo de produção, uma grande quantidade de efluentes líquidos extremamente agressivos ao meio ambiente.

Quanto aos resíduos sólidos, os de maior geração são: as aparas não caleadas e caleadas, carnaça, material curtido (farelo de rebaixadeira e aparas / tiras curtidas) e lodos dos sistemas de tratamento dos efluentes líquidos. Além destes resíduos gerados no processo

produtivo, há os lodos gerados no STAR ou na ETE, em quantidade expressiva: 100 a 200 kg de matéria seca por tonelada de pele salgada processada. Estes resíduos, se tratados e dispostos de forma inadequada, podem ter impacto ambiental significativo, contaminando o solo, as águas superficiais e também as águas subterrâneas (AQUIM ET AL, 2004).

## 6.2 Arranjo físico original e o processo produtivo do Curtume do CTCC

A tecnologia para processamento de pele em couro é conhecida e dominada mundialmente. Porém, a necessidade de diminuir a poluição gerada pelos despejos líquidos, mantendo a qualidade do couro produzido, tem gerado estudos sobre tecnologias alternativas de produção menos agressivas ao meio ambiente.

Devolver a água em condições de manter a integridade dos ecossistemas naturais tem sido uma preocupação constante, já que a mesma é um ponto crítico no ciclo vital do planeta. É comum as indústrias utilizarem, nos processos produtivos, águas provenientes dos rios ou lençóis freáticos (através de poços artesianos). A indústria de beneficiamento do couro é uma grande consumidora de água, como descrito anteriormente.

Diante destas constatações, passou a ser vital encontrar formas de aprimorar o processo produtivo e o tratamento de efluentes de curtume, em busca da eco-eficiência para atingir o desenvolvimento sustentável a médio e longo prazo. Para intervir em um processo, se faz necessário um conhecimento básico sobre os processos de produção de couro.

No curtume do CTCC, o arranjo linear ou por produto (flow shop) em lote (bateladas) é o encontrado. A seguir o fluxograma do processo produtivo – (Figura 29) e o arranjo físico da planta da fábrica de couro do CTCC de Campina Grande, PB. (Figura 30).

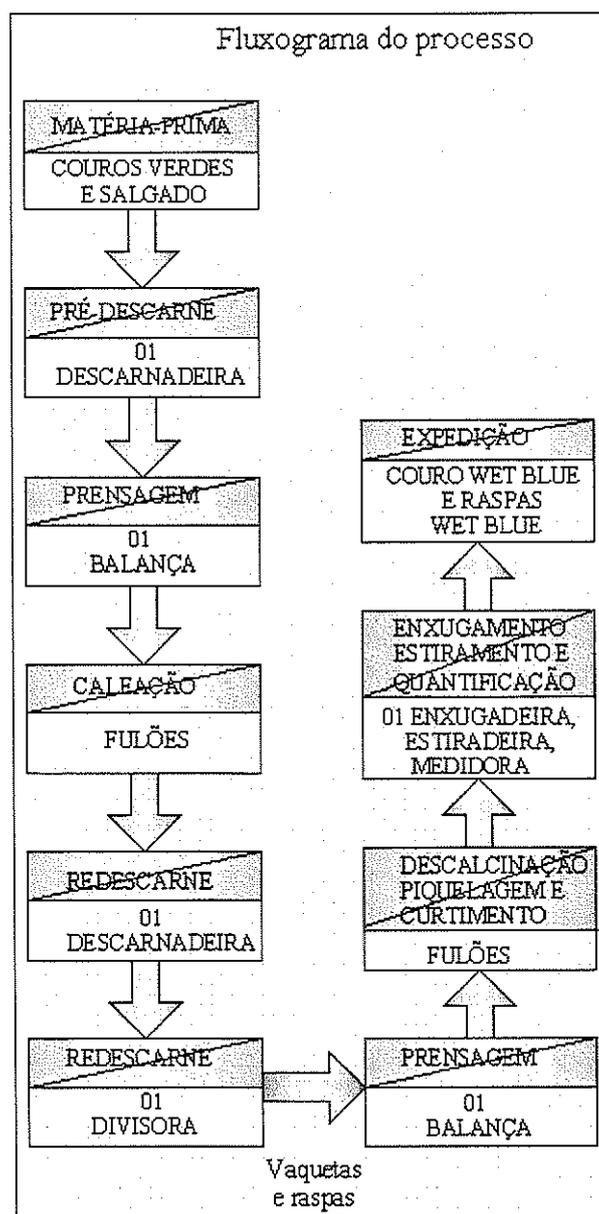


Figura 29– Fluxograma do processo produtivo do CTCC.

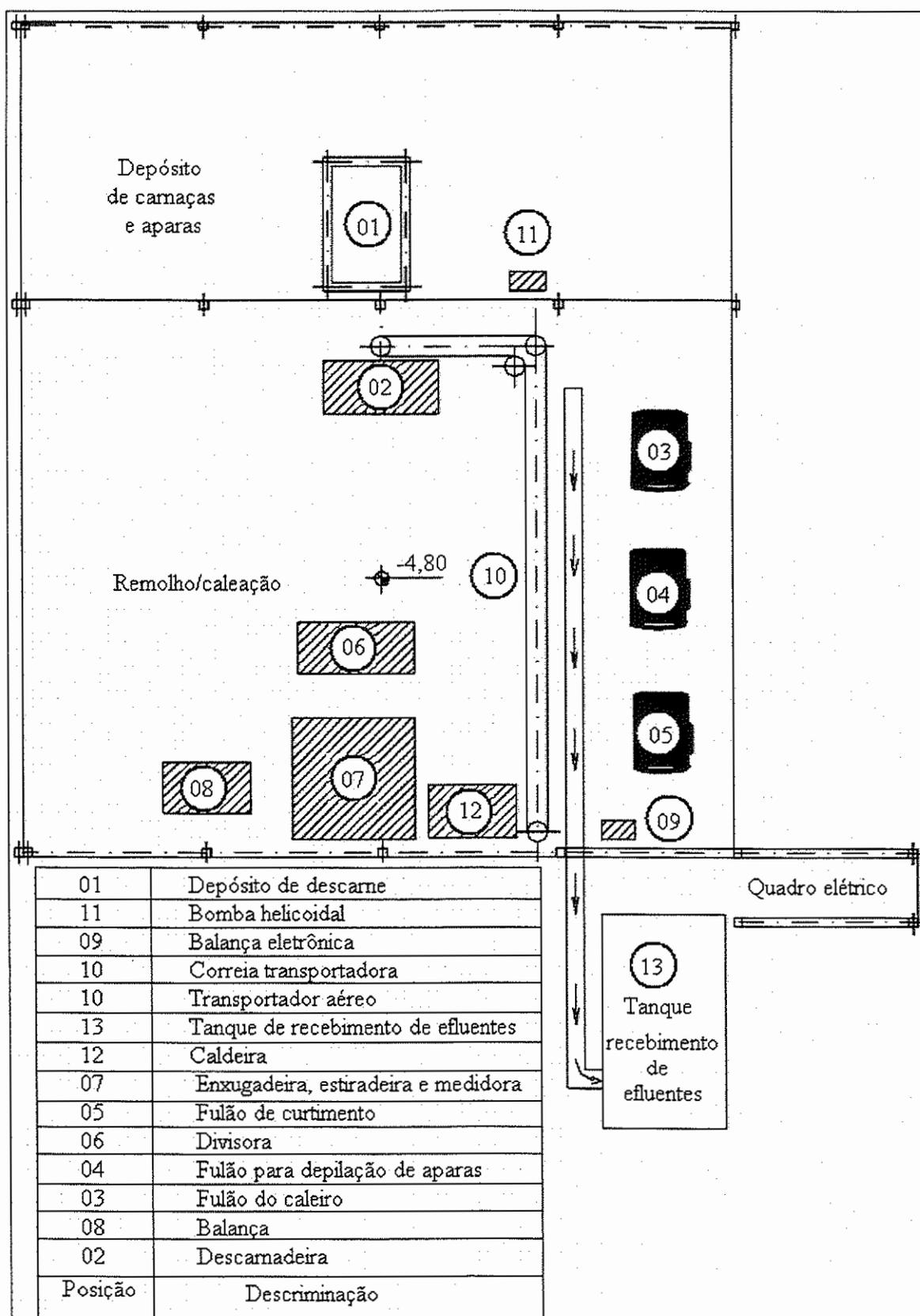


Figura 30 – Representação do arranjo físico antigo.

O processo produtivo começa com a checagem da qualidade da matéria-prima. A qualidade da matéria-prima (peles) depende principalmente da maneira como o rebanho é criado, suas condições de higiene e prevenção de parasitas e outras doenças e depende também do confinamento e transporte dos animais. Após o abate, se o processamento for ter início no prazo de 6 a 12 horas, dependendo da temperatura, as peles podem ficar sem nenhum tratamento – verdes. Caso o processamento vá ser iniciado com um prazo maior, as peles devem passar por um pré-tratamento ou “cura” como o processo é denominado, para serem conservadas.

A conservação das peles tem a finalidade de interromper todas as causas que favorecem sua decomposição, de modo a conservá-las nas melhores condições possíveis, até o início do processo de curtimento, quando irá transformar-se em material estável e imputrescível. Os processos de conservação, de modo geral, baseiam-se na desidratação das peles, visando a criar condições que impossibilitem o desenvolvimento de bactéria e ação enzimática.

O sal é um dos agentes mais empregados na conservação das peles e, quando usado convenientemente e em quantidades adequadas, mantém a pele em boas condições por um ou mais anos. As peles assim conservadas são armazenadas em lugares denominados “barracas” (Figura 31). A conservação também pode ser realizada por secagem, salmouragem ou resfriamento.



Figura 31 - Barraca de armazenagem das peles do CTCC.

O Processo de produção do couro do CTCC – Albano Franco, que é classificado como um curtume integrado e utiliza cromo no seu processo produtivo, possui várias etapas geradoras de efluentes, todas elas ocorrem dentro de fulões (Figuras 32 e 33), que são alocados na planta do curtume em um arranjo físico de acordo com a sequência do processo produtivo (arranjo físico em linha com processo de produção em bateladas/toneladas).



Figura 32: Visão geral curtume



Figura 33: Fulões do curtume do CTCC.

O arranjo físico do CTCC é o tradicional onde os fulões derramam seus efluentes no chão abaixo dos fulões que devido a inclinação, pela ação da gravidade, leva os efluentes para a canaleta de recolhimento que os transporta para um tanque na estação de tratamento. No próximo tópico retratar-se-a em detalhes as fases do processamento do couro.

#### 6.2.1 Descrição das etapas do processo

a) Remolho: Reposição à pele da água removida na conservação (salga). O remolho tem por finalidade repor, no menor espaço de tempo possível, o teor original da água, com a finalidade de limpar os couros, eliminando impurezas aderidas aos pêlos bem como extrair proteínas e materiais interfibrilares, para obter bons resultados nas operações químicas posteriores.

b) Caleiro: é um processo que tem como principal função remover os pêlos e o sistema epidérmico, bem como preparar o couro para operações posteriores. Utiliza cal e sulfeto de sódio, e é responsável pela maior carga poluente no processo industrial.

c) Descarne: Operação mecânica que tem por finalidade eliminar os resíduos sólidos (carnaça) da pele, onde, durante esta operação, são gerados resíduos líquidos oriundos da máquina de descarnar (Figura 34).



Figura 34 - Descarnadeira do CTCC.

d) Desencalagem: É o processo que tem por finalidade a remoção de substâncias alcalinas, tanto as que se encontram depositadas, como as quimicamente combinadas nas peles submetidas às operações de depilação. Uma lavagem intensa e seguida pela adição de produtos químicos neutralizantes, tais como sais amoniacais, bissulfito de sódio ou ácidos fracos.

e) Purga: é um processo de limpeza da estrutura fibrosa por ação enzimática. As enzimas, geralmente proteolíticas, destroem materiais queratinosos degradados, bulbos pilosos e outros. Este processo destina-se a baixar o pH e normalmente é realizado no mesmo banho da desencalagem.

f) Píquel: Processo no qual as peles purgadas e desencaladas são tratadas com soluções salinoácidas, com a finalidade de eliminar resíduos de cal, desidratar a pele e prepará-las para o curtimento ao cromo.

g) Curtimento: O processo do curtimento consiste na transformação de matérias-primas perecíveis (peles) em uma outra classificada como imperecível, ou seja, couros curtidos. Esta transformação permite que não ocorra o processo de degradação microbiológica natural do couro, usando compostos químicos que bloqueiam o acesso enzimático dos microorganismos ao couro animal. Normalmente os insumos químicos mais utilizados são os compostos de cromo, taninos vegetais e taninos sintéticos.

h) Enxugamento: Operação mecânica na qual remove-se o excesso de água contido nos couros. Após a operação de enxugamento, os couros são deixados em repouso por certo número de horas, para que os mesmos readquiram a espessura normal.

i) Neutralização: Processo que visa a eliminação dos ácidos livres existentes nos couros de curtimento mineral, por meio de produtos auxiliares suaves.

j) Recurtimento: Processo que visa completar o curtimento e dar as características finais ao couro. Pode ser realizado com curtentes minerais ou vegetais, resinais e taninos sintéticos. No CTCC, após o recurtimento, os couros, devido às suas características azulada (devido ao curtimento ao cromo) e úmida, são denominados “wet-blue” e armazenados à espera da próxima fase (Figura 35).



Figura 35 – Produção de couro wet-blue do CTCC.

k) Tingimento: É um processo que tem por finalidade dar cor ao couro, através de corantes (anilinas) químicos e utilizando amônia ( $\text{NH}_4^+$ ) como auxiliares na penetração dos corantes.

l) Engraxe: Processo que tem por finalidade principal dar maciez ao couro, através do uso de óleos de origem vegetal ou animal.

No processo de curtimento da pele animal do curtume base deste estudo (CTCC-Campina Grande), o volume de água utilizada gira em torno de  $30 \text{ m}^3$  por tonelada de pele processada, isto devido à tecnologia utilizada. Pode haver variações de acordo com o artigo final a ser obtido. O curtume do CTCC utiliza, em seu processo produtivo, o curtimento ao cromo convencional, processo utilizado na maioria das plantas de curtume.

A tabela 03 a seguir apresenta as características do efluente homogeneizado, após peneiramento, obtido no CTCC, considerando a inexistência da reutilização de banhos residuais.

Parâmetros	Concentrações
pH	7 – 10
Sólidos Totais	15000 mg/l
Sólidos Suspensos	8000 mg/l
Sólidos Sedimentáveis	100 mg/l
DQO	3000 - 6000 mgO <sub>2</sub> /l
DBO <sub>5</sub>	1500 - 3000 mgO <sub>2</sub> /l
Cloretos	3500 mg/l
Sulfetos	150 - 200 mg/l
Nitrogênio Total	200 mg/l
Nitrogênio Amoniacal	65 mg/l
Cromo	70 - 100 mg/l
Sulfatos	900 mg/l
Fósforos	2,0 mg/l

Tabela 03 - Parâmetro do efluente do CTCC - 2006  
Fonte: CTCC.

Os valores da tabela 03 apresentam uma faixa de variação significativa devido à grande variedade do volume de produção e das condições físicas da matéria prima utilizada nos trabalhos realizados no CTCC. Contudo apresentam-se, em média, dentro das concentrações normalmente encontradas para este tipo de efluente.

#### 6.2.2 A Produção de Resíduos no Processo Industrial

No processo produtivo do couro há algumas operações que são responsáveis pela grande geração de resíduos e efluentes, como mencionado anteriormente, onde se pode inferir que, da fase da Ribeira até a etapa de purga, são gerados cerca de 70% dos efluentes líquidos. A figura 36 apresenta o arranjo físico tradicional do processo produtivo do Couro no CTCC e o fluxograma de produção.

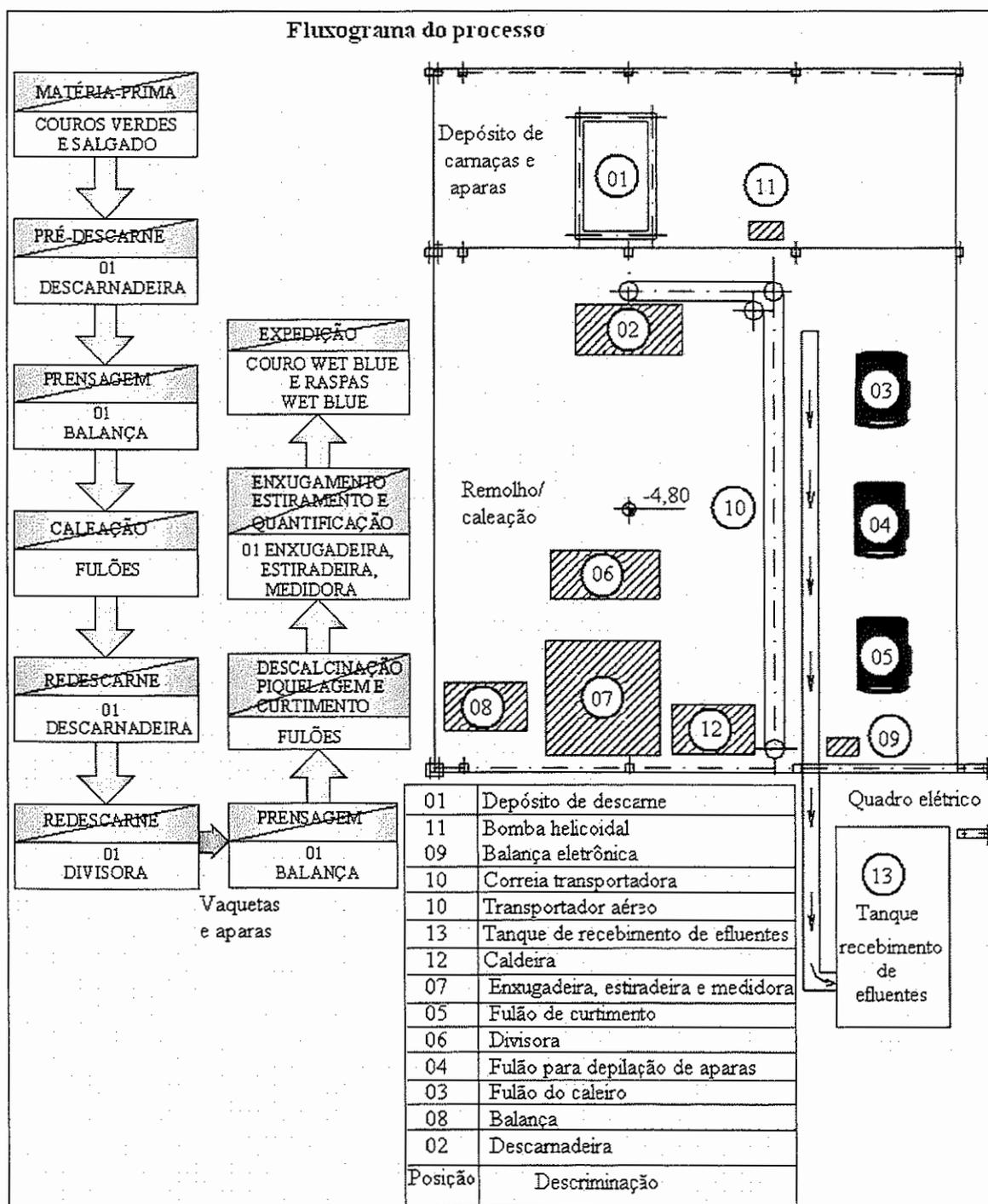


Figura 36 – Fluxograma do processo produtivo do CTCC.

No início do processo, dentro da fase de ribeira, tem-se o pré-remolho que é um processo que visa à lavagem do sal, como preparação ao pré-descarne, e a reposição de parte da água das peles. Essa fase é realizada com aproximadamente 200% de água em relação à massa de peles, onde o processo realizado dentro do fulão dura de 10 minutos até uma hora,

dependendo do estado de conservação das peles. As peles utilizadas no processo produtivo do CTCC estão, na maioria das vezes, em condições consideradas boas de conservação. Essas peles ficam no pré-remolho durante 35 minutos em média, utilizando  $6\text{m}^3$  de água. Nessa fase ocorre a geração de efluentes ricos em sulfeto e matéria orgânica.

Em seguida, há o pré-descarne, uma operação mecânica, realizada em máquina de descarnar, que tem por finalidade cortar a parte inferior da pele (carnal), resíduos de gordura, restos de carnes ou fibras não aproveitáveis, deixados pelo frigorífico na esola do animal. Esta operação gera uma economia de produtos químicos quando do aproveitamento da gordura destes resíduos (aparas não caleadas). A carga de pele é levada para a bancada ao lado da máquina onde se realiza o pré-descarne. Nessa fase ocorre a geração de resíduos sólidos.

Na seqüência do processo, ainda dentro da mesma fase e do mesmo fulão, é feito o remolho, um processo que tem por finalidade repor o teor de água apresentado pelas peles, quando estas recobriam o animal, limpá-las, eliminando impurezas aderidas aos pêlos, bem como extrair proteínas e materiais interfibrilares. A duração pode ser de até 48 horas, dependendo do tipo de conservação. O volume de água requerido no processo obedece as indicações da quadro 06. Utilizam-se alguns agentes auxiliares no remolho como sais, álcalis, ácidos, tensoativos e enzimas.

Matéria-Prima	Equipamento	Volume do Banho referido à massa das peles
Peles Frescas	Fulão	100 - 200%
Peles Salgadas	Fulão	100 - 300%
	Tanque	500%
	Molineta	70%
Peles Secas	Fulão	100 - 300%
	Tanque	500%
	Molineta	70%

Quadro 06: Volume de banho nos processos de Remolho  
Fonte: CLAAS e MAIA, 1994

Nesta fase do processo o peso da carga cresce em aproximadamente 20%, uma vez que as peles estarão reidratadas, voltando praticamente ao seu peso original. Como as peles estão salgadas, tem-se os insumos água e tensoativos para o banho.

A depilação e caleiro são fases do processo que tem como principal função remover os pêlos e o sistema epidérmico, bem como preparar as peles para as operações posteriores. Este processo utiliza **cal e sulfeto de sódio**, sendo considerado altamente poluidor, em especial quando são usados sistemas de depilação com destruição dos pêlos, que são responsáveis por até 85% da carga poluidora dos efluentes. A duração do processo é de 18 a 20h quando realizado em fulões, nos curtumes indianos e nos mais antigos brasileiros onde são utilizadas molinetas<sup>5</sup> o processo pode atingir até 7 dias.

Normalmente, na prática industrial, a composição do caleiro é de 2 a 5% de sulfeto de sódio e 2 a 4% de cal, sendo que, para obterem-se bons resultados, não é necessário empregar mais que 2,0 a 2,5% de cal e 2,0% de sulfeto em relação à massa das peles. A quantidade de água pode variar de 200 a 300%, também em relação à massa das peles.

No processo de descarne tem-se uma operação que tem por finalidade eliminar os resíduos ainda restantes na pele após o pré-descarne. Os resíduos sólidos oriundos desta operação são chamados de carnaça.

O recorte é uma operação elementar realizada manualmente que visa aparar a pele e remover apêndices, o que gera grande quantidade de resíduos sólidos.

Na divisão, a pele é separada em duas camadas: a camada superficial, denominada flor, e a camada inferior, denominada crosta ou raspa. A divisão da pele pode ser realizada no estado caleirado, no estado piquelado ou, mesmo, após o curtimento. É efetuada em máquina de dividir. A camada referente à raspa será recortada (gruponada), originando recortes denominados aparas caleadas.

---

<sup>5</sup> Molinetas são tanques feitos no chão de concreto onde a pele é depositada para curtimento, mexidas manualmente, levam vários dias para realizar o processo.

A desengalagem é um processo que visa a remoção de substâncias alcalinas, tanto as que se encontram depositadas como as quimicamente combinadas. A duração do processo é de 20 minutos a 2 horas, dependendo do artigo a ser fabricado. O volume do banho é de 20 a 30% de água em relação à massa das peles. Como produtos desengalantes são usados: sais amoniacais, bissulfito de sódio ou ácidos fracos.

A purga é um processo de limpeza da estrutura fibrosa por ação enzimática. As enzimas, geralmente proteolíticas, destroem materiais queratinosos degradados, gorduras, bulbos pilosos e outros. O processo tem duração de 45 a 90 minutos e, normalmente, é realizado no mesmo banho da desengalagem.

O píquel é um processo salino ácido que visa basicamente a preparar as fibras colágenas para uma fácil penetração dos agentes curtentes. Pode ser empregado como meio de conservação das peles. O banho de píquel é composto de 6 a 10% de cloreto de sódio, 1 a 1,5% de ácido sulfúrico e 60 a 100% de água, sempre em relação à massa de peles no processo. Alternativamente, pode-se empregar também 0,5 a 1,0% de ácido fórmico. O tempo de duração deste processo pode variar segundo um dos três sistemas a seguir:

- a) píquel de curta duração – 1h 30 minutos a 3 horas;
- b) píquel de equilíbrio- 6 a 8 horas;
- c) píquel rápido – 5 minutos.

O CTCC utiliza um píquel de equilíbrio que dura em torno de 6 horas, o banho é composto de 100% de água, 8% de cloreto de sódio e 1,0% de ácido sulfúrico.

No curtimento propriamente há um processo que consiste na transformação das peles em material estável e imputrescível, ou seja, a transformação da pele em couro. Os produtos mais utilizados como curtentes são os produtos inorgânicos tais como sais de cromo, sais de zircônio, sais de alumínio e sais de ferro.

Dentre os produtos inorgânicos, os sais de cromo ocupam lugar de destaque entre os curtentes. Para curtimentos ao cromo, nos processos convencionais, são usados teores em torno de 2,0 a 3,0% de  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  em relação à massa de peles, adicionados a banhos novos, com 50% de água, ou no mesmo banho do píquel. No processo produtivo do CTCC utiliza-se 3% de  $\text{Cr}_2\text{O}_3$ . Neste momento, há geração de efluentes ricos em Cromo.

O enxugamento é uma operação mecânica que visa remover o excesso de água dos couros. É realizado em máquina de enxugar. Após a operação de enxugar, os couros são deixados em repouso por algumas horas, podendo variar de 8 a 24h, para que os mesmos readquiram a espessura normal. Na máquina de secar deixam-se as peles por 18 horas, e as mesmas passam então a ter uma espessura suficiente para o trabalho a ser realizado.

O rebaixamento é uma operação mecânica que visa igualar a espessura dos couros. É realizada em máquina de rebaixar.

A neutralização é um processo que visa a eliminação por meio de produtos auxiliares suaves e sem prejuízo das fibras e da flor do couro, dos ácidos livres existentes nos couros de curtimento mineral, ou formados durante o armazenamento. Os agentes da neutralização podem ser divididos em:

- sais de ácidos fracos como: bicarbonato de sódio, carbonato de sódio, bórax, etc;
- agentes complexantes como: polifosfatos, acetatos, formiatos, etc;
- sais de taninos sintéticos como: sais de tanino sintético na forma de sais de amônio ou de sódio;

Estes produtos podem ser usados combinados ou não, sempre na ordem de 1% sobre a massa de couro, o volume de banho varia de 80 a 100%.

O CTCC utiliza no processamento bórax e sais de amônio, na taxa de 1% e com 100% de água.

O recurtimento é o processo que visa complementar o curtimento e dar as características finais ao couro. Pode ser realizado com curtentes minerais ou curtentes vegetais. Entre os curtentes minerais, os mais empregados são: sais de cromo, sais de alumínio e sais de zircônio. Entre os curtentes vegetais mais empregados estão: o tanino de mimosa, o tanino de quebracho e o tanino do castanheiro adoçado.

O recurtimento também pode ser realizado com outros materiais como: taninos sintéticos, resinas e glutaraldeído. O volume de banho usado normalmente é de 100 a 150% sobre a massa de peles no processo. O percentual de curtente varia conforme o curtente utilizado. No CTCC utilizam-se sais de cromo a 1,5% e 100% de água para o banho, momento em que também são gerados efluentes ricos em cromo.

O tingimento é um processo que tem por finalidade dar cor ao couro. São usados corantes de caráter químico aniônico e caráter químico catiônico. O volume de banho varia conforme o grau de tingimento desejado. Quanto maior o volume do banho, mais superficial será o tingimento. Assim, com volumes menores, a penetração será mais profunda.

O processo que visa a uma alta penetração do corante usará em torno de 30% de água sobre a massa de couros, enquanto que, para tingimentos leves, o volume pode variar de 20 a 100%. O percentual de corante varia conforme o corante utilizado, sendo normalmente indicado pelo fabricante.

O engraxe é um processo que tem por finalidade principal dar maciez ao couro. As fibras do couro ficam envolvidas pelo material de engraxe, que funciona com lubrificante, evitando a aglutinação das mesmas durante a secagem. No engraxe podem ser usados óleos de origem vegetal, animal ou mineral e quanto ao caráter químico podem ser iônicos ou não iônicos. Os iônicos podem ser aniônicos ou catiônicos. O percentual de óleo no engraxe varia conforme o óleo utilizado. O volume do banho varia de 50 a 100%.

As operações que seguem ao que comumente é chamado de “parte molhada do curtume” são igualmente importantes, visto que conferem ao couro as características finais de maciez, toque, elasticidade, brilho, cor, certas propriedades físico-mecânicas, dentre outras. No entanto, como são menos produtoras de efluentes, não fazem parte do foco desta pesquisa.

A secagem é uma operação que visa a eliminação do excesso de água que o couro apresenta após o último processo em fulão. Primeiramente os couros são acavaletados, atingindo 70% de umidade. Antes das operações de secagem, os couros devem ser submetidos a uma operação mecânica que é executada em máquina de enxugar e estirar e tem por finalidade reduzir o teor de água de 70% para 50%. Na secagem complementar do couro são utilizados vários sistemas, desde a simples e rudimentar secagem ao ar até equipamentos mais complexos e sofisticados. O teor de umidade após a secagem complementar é de 16 a 18%. No CTCC utiliza-se uma máquina de secar.

O condicionamento é uma operação que visa à reumidificação dos couros na qual o teor de umidade é elevado de 16 a 18% para 28 até 32% respectivamente. É normalmente realizado por um umedecimento com água (máquina de reumectar) ou em câmara úmida. O procedimento de câmara úmida é realizado no curtume em estudo.

O amaciamento é uma operação mecânica elementar que tem por finalidade dar aos couros reumedecidos melhor flexibilidade e toque macio. Esse processo também é realizado no CTCC.

O estaqueamento é uma operação mecânica elementar que tem por finalidade retirar parte da elasticidade do couro, ganhando área e obtendo um produto mais “armado”. Realizado em uma ferramenta que é um grande quadrado de madeira cujas bordas são duplas permitindo assim prender a pele pelas beiradas e ir esticando gradualmente.

O recorte é uma operação realizada manualmente com facas, que tem por finalidade a retirada de dobras e partes inaproveitáveis, uniformizando o contorno do couro.

O lixamento é uma operação mecânica onde são executadas as devidas correções da flor (superfície do couro onde se encontravam os pêlos), visando a eliminar defeitos. A operação é executada em máquina de lixar, com muitas partículas suspensas, sendo necessária ventilação específica. No CTCC há uma sala hermeticamente fechada para a realização da operação e o funcionário responsável utiliza EPIs.(equipamento de proteção individual)

O desemboamento é uma operação mecânica que visa a eliminação do pó proveniente do lixamento. Também realizada na sala própria e hermeticamente fechada.

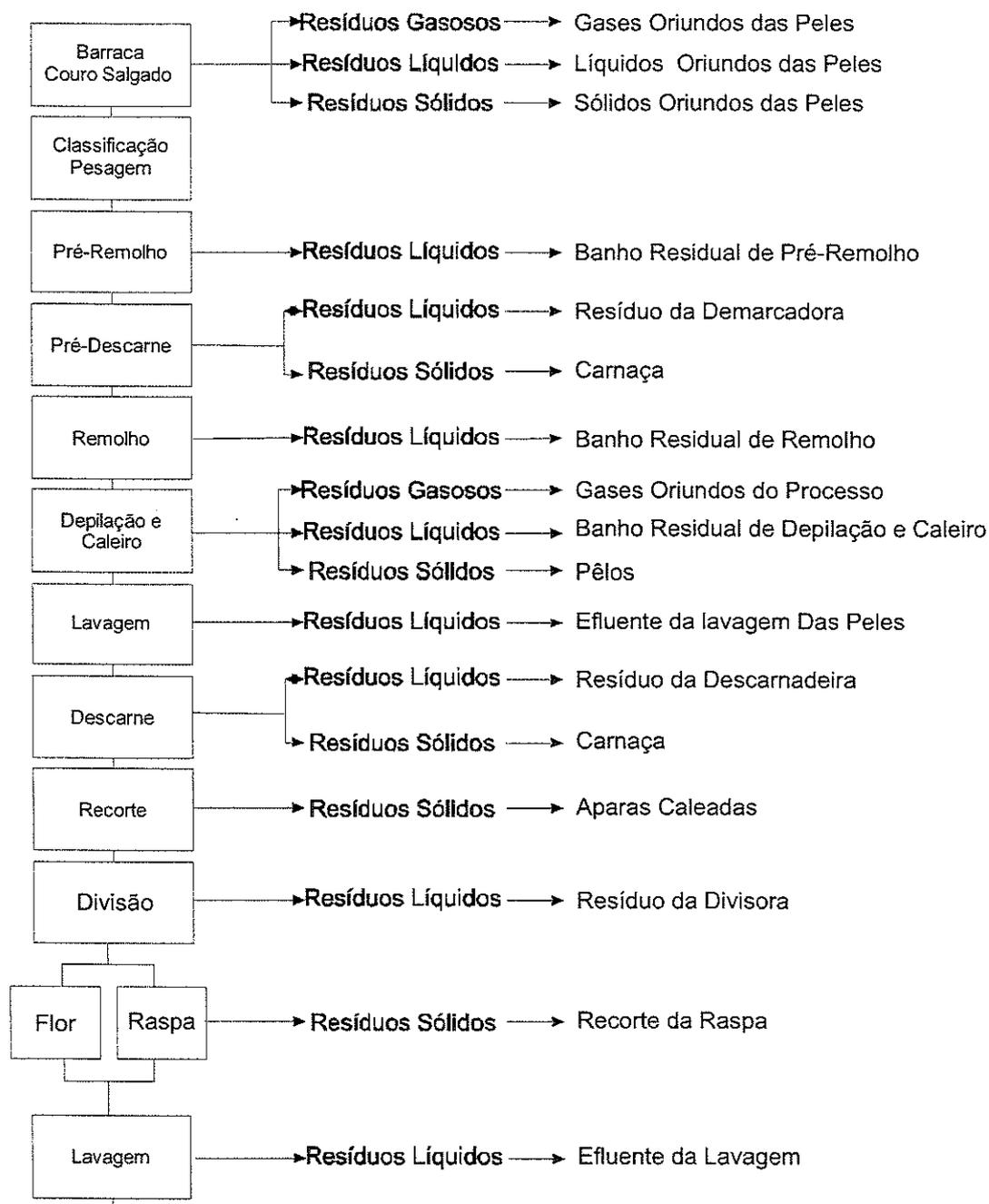
A impregnação é a aplicação de uma significativa quantidade de polímeros termoplásticos sobre a superfície do couro, de forma que penetre e preencha os espaços vazios entre a camada flor e a camada reticular, promovendo a união das mesmas. Pode ser aplicada manualmente (plush) ou em máquinas especiais para este fim. Há uma máquina no CTCC para esta operação.

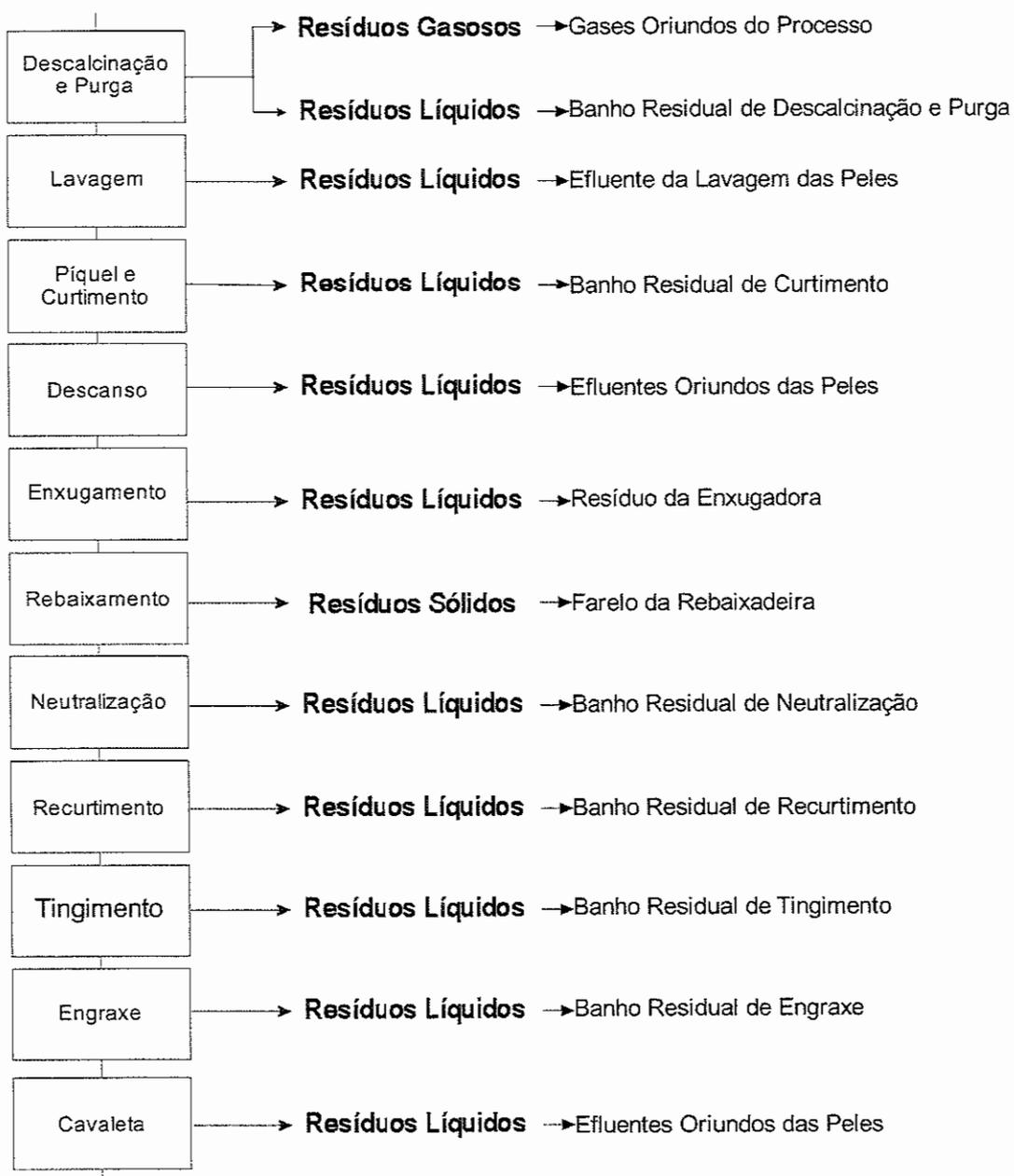
O acabamento é a operação que confere ao couro sua apresentação e aspectos definitivos. Poderá melhorar o brilho, o toque e certas características físicas-mecânicas. Pelo acabamento são aplicados ao couro camadas de misturas à base de ligantes e pigmentos.

A prensagem é uma operação mecânica que visa conferir ao couro características como lustro, brilho, gravação da flor e, ainda, garantir a adesão do acabamento. Há no CTCC a prensa com estampa de couro de cobra, crocodilo, muito utilizada.

A medição é uma operação mecânica que visa avaliar a área dos couros. Após toda a execução do processo produtivo o resultado obtido como produto final é a vaqueta acabada no volume de 432 m<sup>2</sup> de produção diária, 9504 m<sup>2</sup> por mês, 114.048 m<sup>2</sup> por ano em média. Também é gerado um subproduto final processado que é a raspa, em um volume de 288 m<sup>2</sup> por dia, 6336 m<sup>2</sup> por mês e 76.032 m<sup>2</sup> ao ano, em média.

A figura 36, a seguir, representa em forma de fluxo um processo total de curtimento e acabamento convencionais de um curteume integrado, identifica os resíduos gerados no processo produtivo, bem como sua origem.





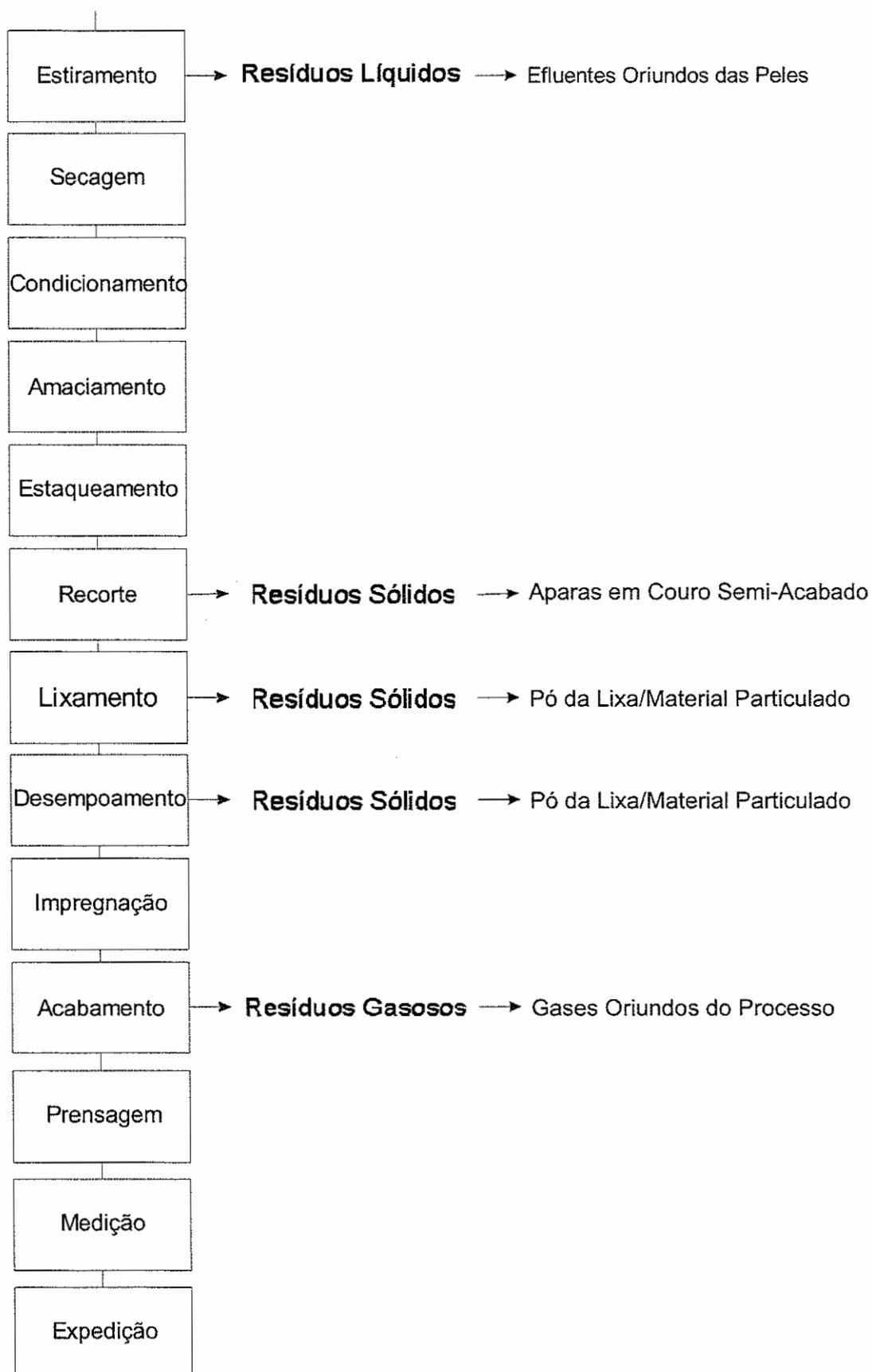


Figura 37 - Fluxograma do processamento de couro e geração de resíduos

Como se observa no fluxograma (figura 36), no processo de fabricação de couros são produzidos resíduos que podem ser removidos como sólidos, transferidos para a atmosfera como gasosos ou material particulado, ou veiculados com os despejos líquidos do curtume. O tratamento dos resíduos líquidos e gasosos, bem como a aproveitamento e a disposição final dos resíduos sólidos, depende de uma adequada caracterização dos mesmos, o que é feito na seção seguinte.

Levantamento in loco dos insumos utilizados no processo produtivo do couro, produção efetivamente realizada dentro do arranjo físico tradicional (tabela 4):

1	jun/03	40,60	1.515	37,32	4.003,75	98,61	1,37	3,37	1,25	3,08	1,22	3,00
2	jul/03	106,04	3.863	36,43	9.462,32	89,23	3,63	3,42	3,30	3,11	3,15	2,97
3	ago/03	84,48	3.450	40,84	9.335,12	110,50	2,86	3,39	2,60	3,08	2,43	2,88
4	set/03	99,71	4.641	46,54	8.837,78	88,63	3,30	3,31	3,00	3,01	2,69	2,70
5	out/03	106,54	5.630	52,84	9.511,65	89,28	3,52	3,30	3,20	3,00	3,02	2,83
6	nov/03	101,25	4.795	47,36	7.989,72	78,91	3,74	3,69	3,40	3,36	2,84	2,80
7	dez/03	98,03	4.441	45,30	8.672,62	88,47	4,29	4,38	3,90	3,98	2,64	2,69
8	jan/04	107,03	5.178	48,38	8.560,00	79,98	3,68	3,44	3,35	3,13	3,01	2,81
9	fev/04	101,69	6.342	62,37	9.093,13	88,83	3,90	3,84	3,55	3,49	2,85	2,80
10	mar/04	106,00	7.992	75,40	10.458,37	98,66	3,53	3,33	3,20	3,02	2,98	2,81
11	abr/04	92,52	5.563	60,13	8.128,38	87,86	3,08	3,33	2,85	3,08	2,38	2,57
12	mai/04	95,80	5.874	61,32	8.452,00	88,23	4,18	4,36	3,85	4,02	2,67	2,79
13	jun/04	82,57	3.712	44,96	8.146,23	98,66	3,82	4,63	3,48	4,21	2,38	2,88
14	jul/04	81,46	3.418	41,96	7.837,12	96,21	3,78	4,64	3,44	4,22	2,33	2,86
15	ago/04	94,24	3.856	40,92	9.998,02	106,09	3,19	3,38	2,95	3,13	2,56	2,72
16	set/04	106,62	7.761	72,79	9.519,57	89,29	3,20	3,00	3,20	3,00	2,86	2,68
17	out/04	104,97	7.904	75,30	9.356,75	89,14	3,46	3,30	3,15	3,00	3,01	2,87
18	nov/04	94,70	4.987	52,66	8.343,49	88,10	2,85	3,01	2,85	3,01	2,48	2,62
19	dez/04	93,81	4.519	48,17	8.255,66	88,00	3,08	3,28	2,80	2,98	2,18	2,32
20	jan/05	103,96	6.271	60,32	9.257,10	89,04	3,11	2,99	3,10	2,98	2,92	2,81
21	fev/05	82,63	3.679	44,52	8.152,60	98,66	2,86	3,46	2,60	3,15	2,85	3,45
22	mar/05	105,44	5.136	48,71	9.403,12	89,18	3,06	2,90	3,20	3,03	3,16	3,00
23	abr/05	90,41	7.841	86,73	7.920,20	87,60	2,97	3,29	2,70	2,99	2,71	3,00
24	mai/05	105,39	8.227	78,06	10.998,19	104,36	3,74	3,55	3,40	3,23	2,86	2,71
25	jun/05	44,29	1.190	26,87	4.520,23	102,07	1,33	2,99	1,16	2,62	1,01	2,28

Tabela 04: Levantamento in loco dos insumos utilizados no processo produtivo do couro

Fonte: Própria autora, 2007.

### 6.2.3 Parâmetros Gerados no Centro Tecnológico do Couro e Calçado

Os valores obtidos no levantamento realizado no CTCC apresentam uma faixa de variação significativa devido à heterogeneidade dos trabalhos realizados. Contudo apresentam-se, em média, dentro das concentrações normalmente encontradas para este tipo de efluente.

Levantamento realizado in loco quanto aos efluentes gerados no processo produtivo do couro do CTCC dentro do arranjo físico tradicional (tabela 05):

Data	Volume de Produção t/Pele salgada	Efluentes gerados m³/mês/m³	Médias do Mês Cromo mg/litro	Médias do Mês pH	Médias do Mês Sulfatos mg/litro	Médias do Mês DQO mg O <sub>2</sub> /litro	Médias do Mês DBO <sub>5</sub> mg O <sub>2</sub> /litro
1 Jun/03	40,60	936	93,00	7,30	198,00	6.923	2.232
2 Jul/03	106,04	2.445	92,50	8,60	189,00	7.102	2.304
3 Ago/03	84,48	1.949	92,80	7,90	176,00	7.187	2.254
4 Set/03	99,71	2.301	93,10	8,80	193,00	6.893	2.378
5 Out/03	106,54	2.460	90,80	8,30	185,00	7.205	2.378
6 Nov/03	101,25	2.339	92,90	8,20	195,00	7.223	2.433
7 Dez/03	98,03	2.269	91,30	8,80	191,00	7.156	2.142
8 Jan/04	107,03	2.483	91,70	9,10	187,00	6.878	2.281
9 Fev/04	101,69	2.364	93,60	8,50	177,00	6.958	2.188
10 Mar/04	106,00	2.470	94,10	8,10	188,00	6.959	2.574
11 Abr/04	92,52	2.129	89,90	7,80	198,00	7.145	2.482
12 Mai/04	95,80	2.213	91,40	7,60	199,00	7.134	2.813
13 Jun/04	82,57	1.911	89,60	7,90	183,00	6.968	2.416
14 Jul/04	81,46	1.890	90,60	8,40	178,00	6.888	2.730
15 Ago/04	94,24	2.191	91,30	8,50	184,00	9.004	2.432
16 Set/04	106,62	2.484	92,70	8,30	193,00	9.076	2.549
17 Out/04	104,97	2.451	92,30	8,10	175,00	6.785	2.389
18 Nov/04	94,70	2.216	93,50	8,90	179,00	6.788	2.488
19 Dez/04	93,81	2.200	90,90	9,30	184,00	7.002	2.250
20 Jan/05	103,96	2.433	89,60	9,70	183,00	7.018	2.458
21 Fev/05	82,63	1.929	91,20	9,50	189,00	7.109	2.274
22 Mar/05	105,44	2.457	90,30	9,10	198,00	7.194	2.255
23 Abr/05	90,41	2.102	90,20	8,80	188,00	7.135	2.259
24 Mai/05	105,39	2.445	91,60	8,70	187,00	7.142	2.403
25 Jun/05	44,29	683	19,07	5,80	91,48	3.725	1.685

Tabela 05 - Levantamento realizado in loco quanto aos efluentes gerados no processo produtivo do couro

Fonte: própria autora

Após a verificação in loco do processo produtivo no arranjo físico tradicional e do acompanhamento do levantamento dos efluentes gerados no curtume do CTCC, realizou-se uma descrição sobre os resíduos gerados.

Despejos líquidos - provenientes da produção em sua capacidade produtiva total de 4,5t/dia.

- Processo Produtivo Completo (Q).....125,33m<sup>3</sup>/d
- Lavagens em Geral (Q).....5m<sup>3</sup>/d
- Caldeira (Q).....0,5m<sup>3</sup>/d

Os despejos referentes ao processo produtivo completo e lavagem em geral, são coletados e conduzidos às unidades operacionais da estação de tratamento de efluentes.

#### Despejo Líquido Industrial

O despejo líquido proveniente da produção é reunido em uma canaleta localizada no interior do galpão da produção, seguindo por gravidade até a área de tratamento, isto é, até a estação de tratamento de efluentes. Nesta estação há um único tanque receptor e nele começa o processo com o efluente. O efluente recebe tratamento adequado para redução da carga poluidora através das seguintes unidades operacionais: grades, caixa de gordura, peneira, tanque de equalização/oxidação, acerto de pH, decantador primário, reator biológico aerado e decantador secundário.

O volume e a caracterização do efluente, gerado na produção, foi mensurado “in loco”. A vazão a ser considerada para tratamento leva em conta o período de funcionamento da ETE, que consiste em 16 horas/dia.

- Vazão média para tratamento.....11,25m<sup>3</sup>/h

A ETE funciona para adequar os efluentes aos parâmetros exigidos pela legislação CONAMA nº357/2005, que dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, estabelecendo condições e padrões de lançamento de efluentes para que os mesmos possam então ser desaguados no local receptor com o mínimo de prejuízo possível. Os locais receptores dos efluentes industriais consistem em rede de coleta de esgoto ou mesmo diretamente em rios e, nesses casos, é fundamental a realização desse tratamento.

Informações sobre os Resíduos sólidos:

Os resíduos sólidos, pêlos, carnaças, pó da rebaixadeira e cortes de couros gerados no processo produtivo, são oriundos das etapas do caleiro, descarte, rebaixamento e acabamento, respectivamente. Os pêlos serão direcionados aos leitos de secagem, e após o processo de desidratação são descartados em aterros apropriados. As carnaças (parte inferior da pele) são direcionadas a unidade da graxaria, onde ocorrerá um reaproveitamento das mesmas, para obtenção de um subproduto – sebo. O pó da rebaixadeira e os cortes de couro são armazenados no pátio do CTCC em tambores adequados e destinados às empresas que produzam palmilhas de couro aglomerado.

#### 6.2.4 Arranjo físico do CTCC eco-eficiente

Em junho de 2005, foram efetuadas as alterações do arranjo físico do processo produtivo, de arranjo físico tradicional para o que denomina-se de arranjo físico eco-eficiente. As figuras 37 e 38 denotam o fluxo do processo produtivo novo arranjo físico.

A busca para encontrar formas de aprimorar o processo produtivo e o tratamento de efluentes de curtume, visando a eco-eficiência para atingir o desenvolvimento sustentável a médio e longo prazo, resultou na alteração da base dos fulões, onde a partir de então haverá bacias com uma bomba acoplada que receberão os banhos ao final de cada processo, permitindo então que o mesmo banho seja utilizado novamente no fulão com uma nova carga de peles, sendo que para isso ele será apenas complementado tanto no que tange ao volume de água quanto aos produtos químicos referentes a cada uma das fases do processo.

O arranjo físico do CTCC continua a ter características de um arranjo físico linear ou por produto (flow shop) em lote (bateladas), mas ao mesmo tempo cada um dos fulões também adquire características de célula de produção.

Como pode ser observado na figura 38, o novo arranjo físico eco-eficiente agrega, a cada um dos fulões responsáveis pelo processo produtivo, características de uma célula de produção, permitindo, desta forma, que as mesmas sejam reproduzidas conforme a

necessidade da linha de produção, alcançando uma das vantagens almejadas na otimização dos arranjos físicos através da flexibilidade, além de permitir que cada um seja realimentado com insumos já utilizados no processo anterior, gerando, desta forma, uma economia dos mesmos.

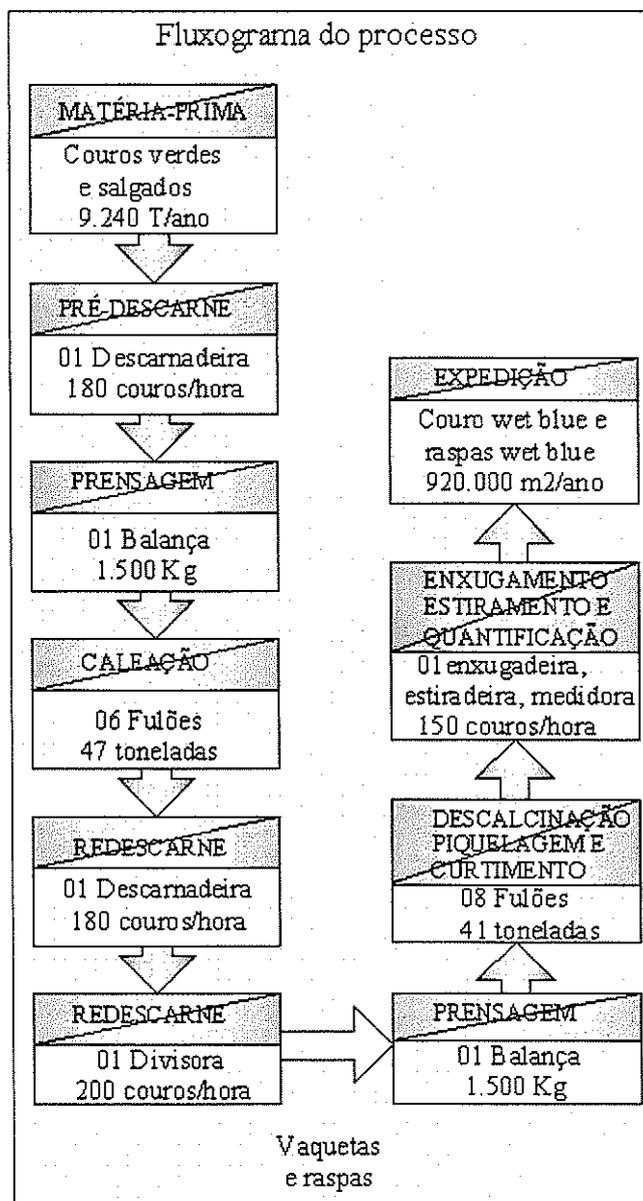
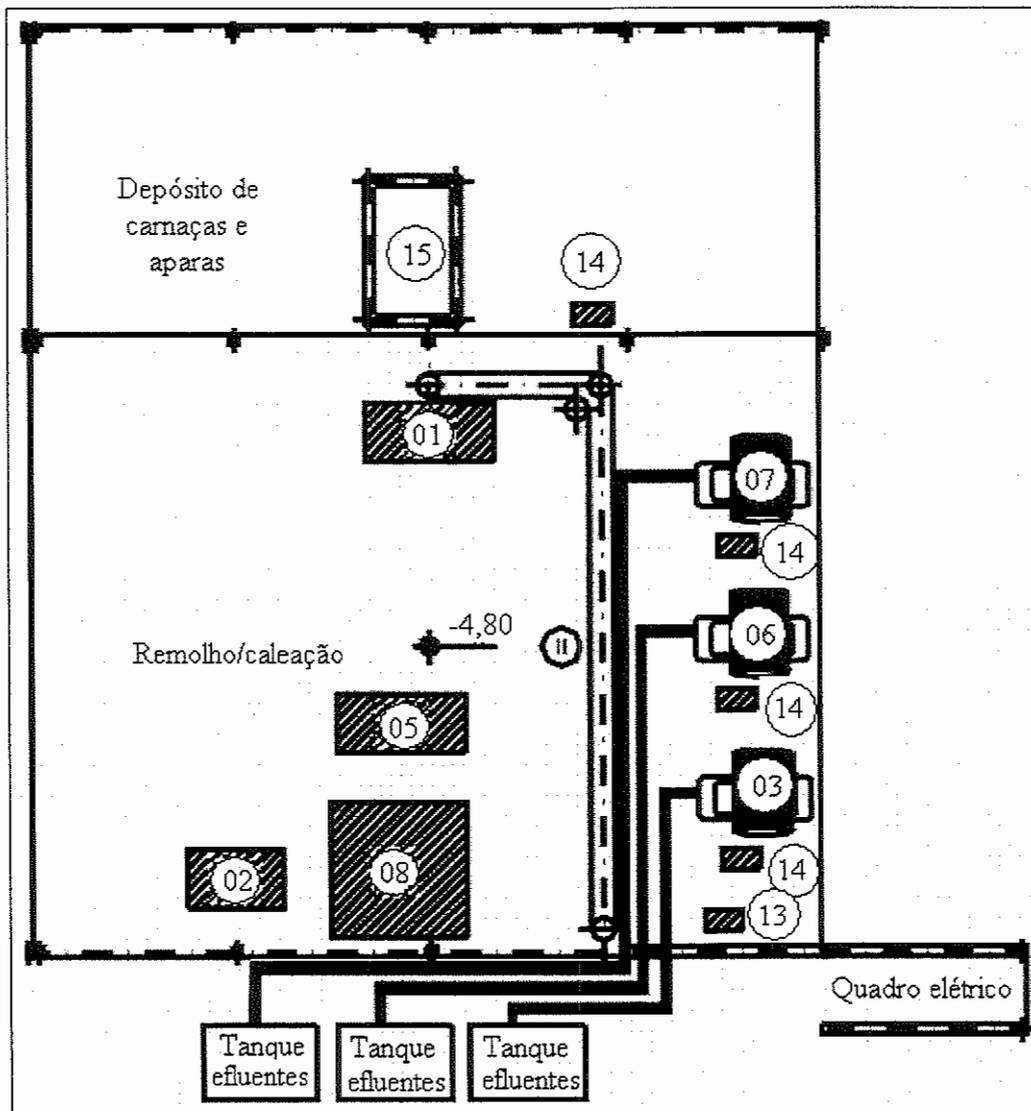


Figura 38 – Fluxograma do processo no arranjo físico eco-eficiente.



01	Depósito de descarne
11	Bomba helicoidal
09	Balança eletrônica
10	Correia transportadora
10	Transporte aéreo
13	Tanque de recebimento de efluentes
12	Caldeira
07	Enxugadeira, estiradeira e medidora
05	Fulão de curtimento
06	Divisora
04	Fulão para depilação de aparas
03	Fulão do caleiro
08	Balança
02	Descarnadeira
Posição	Descriminação

Figura 39 – Arranjo físico eco-eficiente.

O arranjo físico em células é composto de células de produção e montagem interligadas por um sistema de controle de material de “puxar”. Nas células, operações e processo são realizados de acordo com a seqüência de produção que é necessária para fazer os produtos. Os fulões na célula são de ciclo único. O fulão célula é responsável por todo o processo necessário para a conclusão de uma fase do processo, permitindo assim maximizar a produção. Os pontos chave desse tipo de arranjo são:

- fulões são dispostos na seqüência do processo;
- uma batelada de couro de cada vez é feita dentro da célula;
- os trabalhadores são treinados para lidar com mais de um processo (operadores polivalentes);
- o tempo do ciclo para o sistema dita a taxa de produção para a célula, permitindo nos curtumes que se tenha mais fulões células responsáveis pelas fases mais demoradas do processamento do couro – ribeira (em média 4 dias), em relação aos fulões células que executam fases mais rápidas do processo – Curtimento (1 dia) e Recurtimento (1 dia) dinamizando o fluxo da produção;
- os operadores trabalham de pé e caminhando;
- maior facilidade no Planejamento e Controle da Produção, na medida em que o problema de alocação de ordens de produção dos fulões células são extremamente minimizados;
- redução de imperfeições no produto durante o processo, na medida em que, num arranjo celular, o técnico responsável, ao passar a batelada de peles diretamente a outro fulão célula, caso verifique defeitos, ou um estado não satisfatório, o mesmo devolverá a batelada de pele ao fulão para complementar o processo;
- redução de espaço.

- Separação dos resíduos em cada fase do processo, quando efluentes os mesmos são conduzidos por canaletas individualizadas por fulão e conseqüente tanques receptores também individualizados para cada fase do processo, maximizando desta forma o trabalho da ETE.

A elevação do arranjo físico à condição de eco ferramenta de melhoria, que são usadas para auxiliar os projetistas nas tomadas de decisões e na implementação de ações, que objetivam a redução do impacto ambiental dos produtos, permitiu uma nova dimensão do processo quanto à utilização dos insumos, agregando valor ao produto uma vez que o mesmo passa a ser obtido através de um processo produtivo onde o impacto ambiental foi consideravelmente minimizado.

#### 6.2.5 Descrição das fases dos processos produtivos foco do Arranjo Físico Eco-eficiente

Neste novo arranjo físico eco-eficiente, o processo produtivo continua se iniciando com a checagem da qualidade da matéria-prima. Após esta checagem, inicia-se o processo produtivo propriamente dito, com as seguintes fases:

a) Remolho: cuja a água utilizada nesta fase é derramada na bacia abaixo do fulão e após a decantação dos resíduos os mesmos são retirados e a água é reutilizada no mesmo procedimento.

b) Caleiro: que dentro do arranjo físico eco-eficiente, esta etapa do processo é muito importante. Aqui, a bacia abaixo do fulão é acrescida de uma peneira que será responsável pela retenção de grande parte da carga poluente formada por resíduos sólidos (pelos, restos de carne, gordura).

c) Desencalagem: Neste momento do processo produtivo, novamente a bacia abaixo do fulão recolherá o efluente e o mesmo será reutilizado para a próxima carga de pele, sofrendo apenas o complemento necessário de água e produtos químicos.

d) Purga: Realizado no mesmo banho da desengalagem este processo destina-se a baixar o ph.

e) Píquel: Processo no qual as peles purgadas e desengaladas são tratadas com soluções salinoácicas, com a finalidade de eliminar resíduos de cal, desidratar a pele e prepará-las para o curtimento ao cromo.

f) Curtimento: No processo eco-eficiente, esta fase do processo produtivo merece muita atenção, uma vez que os insumos químicos utilizados (cromo), possuem grande efeito poluidor. Aqui, a reutilização dos banhos é muito importante na minimização do impacto ambiental gerado pelo processamento do couro.

g) Neutralização: Processo que visa a eliminação dos ácidos livres existentes nos couros de curtente mineral, por meio de produtos auxiliares suaves.

h) Recurtimento: Neste momento do processo, como no primeiro curtimento, há que ter um grande cuidado, pois a geração de poluentes é grande. No arranjo físico eco-eficiente a reutilização, também aqui, dos banhos (água) e a diminuição na quantidade utilizada dos insumos químicos, principalmente o cromo, é grande responsável pela minimização no impacto ambiental.

Levantamento in loco dos insumos utilizados no processo produtivo do couro, produção efetivamente realizada após a alteração do arranjo físico tradicional para o arranjo físico eco-eficiente (tabela 06) :

DATA	Volume de Produção /Pala exibida	Consumo de Açúcar	Consumo de Água mg/l	Consumo de Energia /KWh	Consumo de Óleo mg/l	Consumo de Cromo Mg/l	Consumo de Cromo UMa %	Consumo de Sulfato de Sódio Mg/l	Consumo de Sulfato de Sódio UMa %	Consumo de Cal Mg/l	Consumo de Cal UMa %	
1	jul/05	105,90	2.855	26,96	9.846,50	92,98	3,00	2,83	2,82	2,66	1,68	1,59
2	ago/05	87,79	2.510	28,59	10.050,45	114,48	2,53	2,88	2,32	2,64	2,24	2,55
3	set/05	102,98	3.250	31,56	9.364,79	90,94	3,08	2,99	2,66	2,58	2,95	2,86
4	out/05	106,25	3.706	34,88	9.874,68	92,94	3,06	2,88	2,77	2,61	2,60	2,45
5	nov/05	95,92	3.407	35,52	7.864,14	81,99	2,73	2,85	2,78	2,90	1,92	2,00
6	dez/05	93,80	3.102	33,07	8.605,53	91,74	2,67	2,85	3,24	3,45	2,13	2,27
7	jan/06	89,55	3.076	34,35	7.434,04	83,02	2,68	2,99	2,39	2,67	2,05	2,29
8	fev/06	102,39	4.406	43,03	9.450,37	92,29	2,79	2,72	3,03	2,96	2,36	2,30
9	mar/06	101,28	4.104	40,52	10.388,73	102,57	2,89	2,66	2,63	2,60	2,49	2,46
10	abr/06	79,71	3.115	39,08	7.247,90	90,93	2,33	2,92	2,10	2,63	1,97	2,47
11	mai/06	91,57	3.706	40,47	8.483,12	92,64	2,65	2,89	3,12	3,41	2,06	2,25
12	jun/06	85,18	2.604	30,57	8.840,88	103,79	2,54	2,98	3,06	3,59	1,87	2,20
13	jul/06	81,78	2.402	29,37	8.269,59	101,11	2,34	2,86	2,98	3,64	1,98	2,42
14	ago/06	93,69	2.760	29,46	10.466,07	111,71	2,77	2,96	2,47	2,64	2,01	2,15
15	set/06	84,82	2.873	33,87	7.944,65	93,66	2,41	2,84	2,19	2,58	2,05	2,42
16	out/06	106,72	3.892	36,47	9.969,15	93,42	3,08	2,89	2,78	2,61	2,35	2,20
17	nov/06	92,12	3.541	38,44	8.497,92	92,25	2,75	2,99	2,36	2,56	2,12	2,30
18	dez/06	98,19	3.358	34,20	10.050,45	102,36	2,59	2,64	2,52	2,57	2,24	2,28
19	jan/07	93,18	3.226	34,62	8.679,16	93,14	2,78	2,98	2,36	2,53	2,06	2,21
20	fev/07	97,08	2.896	29,83	9.874,68	101,71	2,39	2,46	2,61	2,69	2,18	2,25
21	mar/07	99,12	3.138	31,66	9.219,19	93,01	2,32	2,34	2,60	2,62	2,34	2,36
22	abr/07	81,84	2.655	32,44	7.542,57	92,16	2,39	2,92	2,12	2,59	2,13	2,60
23	mai/07	79,65	2.759	34,64	8.735,71	109,68	2,34	2,94	2,20	2,76	2,05	2,57

Tabela 06 – Levantamento “in loco” dos insumos utilizados no processo produtivo após a alteração do arranjo físico.

### 6.2.6 Resíduos no arranjo físico eco-eficiente

No processo produtivo do couro do CTCC utiliza-se 3% de  $\text{Cr}_2\text{O}_3$ , na “receita” do banho necessário ao curtimento, sendo que após a alteração do arranjo físico conforme princípios eco-eficientes, a economia deste insumo foi relevante, assim como a quantidade de efluente para ser tratado (tabela 07).

Levantamento realizado in loco quanto aos efluentes gerados no processo produtivo do couro do CTCC após a alteração do arranjo físico tradicional para o arranjo físico eco-eficiente (tabela 07):

	Volume de	Efluentes	Médias do	Médias do	Médias do	Médias do	Médias do
	Produção	gerados	Mês	Mês	Mês	Mês	Mês
		ao	Cromo	pH	Sulfetos	DQO	DBO <sup>5</sup>
Data	t/Pele salgada	mês/m <sup>3</sup>	mg/litro		mg/litro	mg O <sup>2</sup> /litro	mg O <sup>2</sup> /litro
jul/05	105,90	1.608	19,61	6,78	85,62	3.885	1.723
ago/05	87,79	1.313	19,30	6,26	80,08	3.917	1.672
set/05	102,98	1.517	18,71	7,03	88,78	3.722	1.781
out/05	106,25	1.577	17,98	6,66	85,47	3.876	1.788
nov/05	95,92	1.446	18,12	6,60	90,29	3.879	1.837
dez/05	93,80	1.435	19,08	6,96	85,38	3.957	1.587
jan/06	89,55	1.319	19,44	7,17	82,65	3.838	1.683
fev/06	102,39	1.579	19,28	6,75	78,94	3.855	1.628
mar/06	101,28	1.550	19,48	6,42	83,28	3.876	1.912
abr/06	79,71	1.210	19,15	6,14	86,53	4.023	1.829
mai/06	91,57	1.380	19,10	6,01	87,36	4.002	2.084
jun/06	85,18	1.274	18,37	6,28	80,70	3.895	1.800
jul/06	81,78	1.214	18,12	6,72	79,03	3.830	2.048
ago/06	93,69	1.380	18,08	6,82	86,30	4.781	1.829
set/06	84,82	1.239	18,26	6,66	90,32	4.828	1.919
out/06	106,72	1.596	18,46	6,48	81,03	3.644	1.792
nov/06	92,12	1.346	19,07	7,08	81,80	3.686	1.856
dez/06	98,19	1.446	18,91	7,37	83,17	3.837	1.670
jan/07	93,18	1.404	18,82	7,66	81,98	3.874	1.819
fev/07	97,08	1.474	19,24	7,50	83,73	3.960	1.680
mar/07							

	99,12	1.517	18,87	7,20	88,51	3.978	1.671
abr/07	81,84	1.262	19,57	6,89	81,78	4.031	1.656
mai/07	79,65	1.164	18,87	6,91	83,03	3.971	1.788

Tabela 07: Levantamento “in loco” dos efluentes gerados pelo processo produtivo após a alteração do arranjo físico.

### 6.3 ANÁLISE ESTATÍSTICA DA PRODUÇÃO E IMPACTOS AMBIENTAIS

#### 6.3.1 Variáveis investigadas

Diante do objetivo proposto nesta pesquisa, foram investigadas as seguintes variáveis:

Variável explicativa ⇒ Arranjo físico como ferramenta de Eco-eficiência

Variáveis dependentes ⇒ Aspectos relacionados à adequação do arranjo físico como ferramenta de eco-eficiência.

O procedimento de coleta de dados desta pesquisa utilizou observação “in loco” do processo produtivo com anotações dos valores envolvidos no processo, entrevistas realizadas in loco com os funcionários participantes do processo produtivo e estudo de relatórios da administração.

Marconi e Lakatos (1999), determinam que a observação é uma técnica de coleta de dados que se utiliza dos sentidos na obtenção dos dados, e não consiste apenas nisso, mas também em examinar fatos que são foco de estudo. Já a entrevista consiste em fazer uma série de perguntas a um informante, estabelecer uma conversação.

Há várias possibilidades de realizar a observação. Nesta pesquisa foi realizada a observação na vida real que são feitas em ambiente real, registrando-se os dados à medida em que forem ocorrendo, sem prévia preparação. (MARCONI E LAKATOS, 1999).

Para Gil (2002), a entrevista desestruturada é quando se desenvolve em qualquer direção que o entrevistador considerar adequada ao estudo. Para Marconi e Lakatos (1999), a entrevista pode ser despadronizada, mas focalizada, onde há um roteiro de tópicos relativos ao

assunto objeto de estudo. Cabendo ao entrevistador conduzir e estruturar a entrevista durante sua realização, sempre focando o maior número possível de informações úteis para o estudo.

### 6.3.2 Análise estatística dos dados

Para testar a significância estatística das diferenças encontradas entre os valores das diversas variáveis referentes aos insumos e aos resíduos gerados pelo processo produtivo do curtume investigado, considerando o arranjo físico original e o arranjo físico modificado, bem como às circunstâncias metodológicas acerca do objetivo desta pesquisa, foi utilizado um teste não-paramétrico para a realização desta tarefa.

Sobre os testes estatísticos não-paramétricos, Bisquerra, Sarriera e Martinez (2004) consideram que a estatística não-paramétrica é definida como o conjunto de provas que se aplicam sem necessidade de fazer qualquer tipo de suposições sobre as distribuições ou origem das variáveis que estão sendo estudadas.

Levin (1987) destaca que os testes estatísticos não paramétricos são dotados de atributos operacionais que não exigem os pressupostos inerentes à normalidade de distribuição ou nível intervalar de mensuração para as variáveis investigadas. Nesta mesma perspectiva, Stevenson (1986) corrobora que os testes não-paramétricos são recomendados quando as hipóteses exigidas por outras técnicas não são satisfeitas, ou quando não é possível verificar estas hipóteses devido ao pequeno tamanho das amostras.

Nesta pesquisa, foi utilizado o teste não-paramétrico de Mann-Whitney U. Para Levin (1987), o teste não-paramétrico de Mann-Whitney U é utilizado para avaliar se duas amostras podem ser consideradas como sendo provenientes da mesma população, ressaltando ainda que, na medida em que o tamanho das amostras se aproxima de 30, a distribuição de U tende rapidamente à normalidade.

Stevenson (1986) considera que o teste não-paramétrico de Mann-Whitney U pode ser utilizado para testar se duas amostras provêm de populações que possuem médias iguais.

Os procedimentos estatísticos inerentes à execução do teste não-paramétrico de Mann-Whitney U foram realizados através do auxílio do aplicativo estatístico *STATISTICA for Windows*.

A primeira etapa da análise do comportamento dos elementos formadores dos insumos utilizados no processo produtivo do curtume investigado em relação ao período anterior à alteração do arranjo físico da produção consistiu no cálculo de seus respectivos estimadores descritivos. Os resultados dessa análise são apresentados na tabela 08.

Insumos	Amostra	Média	Mínimo	Máximo	Desvio-padrão
Volume de produção	25	93,207	40,600	107,03	17,380
Consumo de água	25	5111,400	1190,000	8227,00	1897,523
Água m <sup>3</sup> /t	25	53,447	26,870	86,73	14,950
Consumo de energia	25	8566,125	4003,750	10998,19	1527,705
Energia Kwh/t	25	92,544	78,911	110,50	7,802
Consumo de cromo	25	3,261	1,325	4,29	0,704
Consumo cromo t/m <sup>3</sup>	25	3,503	2,902	4,64	0,497
Consumo sulfeto de sódio	25	3,019	1,160	3,90	0,643
Sulfeto de sódio t/m <sup>3</sup>	25	3,236	2,619	4,22	0,419
Consumo de cal	25	2,608	1,010	3,16	0,522
Consumo cal t/m <sup>3</sup>	25	2,795	2,281	3,45	0,226

Tabela 08 - Estatística descritiva dos insumos utilizados no processo produtivo com o Arranjo Físico original

Fonte: Dados calculados pela autora 2007.

Pode-se observar que os diversos elementos investigados estão discriminados em relação às principais métricas descritivas, nas quais se percebe que há um considerável grau de variabilidade dos valores mínimos e máximos encontrados em relação às suas respectivas médias. Estes resultados são corroborados pelos valores obtidos para seus respectivos desvios padrões.

O mesmo procedimento estatístico foi adotado para descrever o comportamento dos elementos formadores dos insumos utilizados no processo produtivo do curtume investigado em relação ao período posterior à alteração do Arranjo Físico de produção. Os resultados dessa análise são apresentados na tabela 09.

Variáveis	Amostra	Média	Mínimo	Máximo	Desvio-padrão
<b>Volume de produção</b>	23	93,501	79,648	106,72	8,6508
<b>Consumo de água</b>	23	3188,739	2402,000	4406,00	520,2528
<b>Água m<sup>3</sup>/t</b>	23	34,070	26,960	43,03	4,1900
<b>Consumo de energia</b>	23	8986,968	7247,900	10466,07	984,1332
<b>Energia Kwh/t</b>	23	96,284	81,988	114,48	8,2921
<b>Consumo de cromo</b>	23	2,648	2,320	3,08	0,2484
<b>Consumo cromo t/m<sup>3</sup></b>	23	2,838	2,341	2,99	0,1697
<b>Consumo sulfeto de sódio</b>	23	2,613	2,100	3,24	0,3325
<b>Sulfeto de sódio t/m<sup>3</sup></b>	23	2,804	2,533	3,64	0,3547
<b>Consumo de cal</b>	23	2,167	1,680	2,95	0,2672
<b>Consumo cal t/m<sup>3</sup></b>	23	2,324	1,586	2,86	0,2432

Tabela 09 - Estatística descritiva dos insumos utilizados no processo produtivo com o arranjo físico modificado

Fonte: Dados calculados pela autora, 2007.

Através dos valores encontrados, pode-se observar que, dentro os diversos insumos de produção investigados, suas métricas descritivas apresentam um menor grau de variabilidade dos valores mínimos e máximos encontrados em comparação ao período anterior à alteração do arranjo físico.

Também pode ser observado que, excetuando as médias referentes ao volume de produção, ao consumo de energia elétrica e a relação entre energia elétrica e o volume de produção, os valores médios se mostraram em níveis menores em comparação aos valores médios referentes ao período anterior. (tabela 10)

	Media Tradicional	Media Eco-eficiente
<b>Volume de produção</b>	93,207	93,501
<b>Consumo de água</b>	5111,400	3188,739
<b>Água m<sup>3</sup>/t</b>	53,447	34,070

Consumo energia	8566,125	8986,968
Energia Kwh/t	92,544	96,284
Consumo cromo	3,261	2,648
Consumo cromo t/m <sup>3</sup>	3,503	2,838
Consumo sulfeto de sódio	3,019	2,613
Sulfeto de sódio t/m <sup>3</sup>	3,236	2,804
Consumo cal	2,608	2,167
Consumo cal t/m <sup>3</sup>	2,795	2,324

Tabela 10 – Tabela comparativa entre as médias obtidas antes e depois da alteração do arranjo físico

Fonte: Dados calculados pela autora, 2007.

Nesta mesma perspectiva investigativa, foram calculadas as métricas descritivas inerentes aos resíduos do processo produtivo do curtume investigado em relação aos períodos anterior e posterior à alteração do arranjo físico de produção. Os resultados da análise do período anterior estão apresentados na tabela 11.

Resíduos	Amostra	Média	Mínimo	Máximo	Desvio-padrão
Efluentes gerados	25	2150,000	683,000	2484,000	448,7720
Média de cromo mg/litro	25	88,799	19,070	94,100	14,5848
Média de PH por mês	25	8,400	5,800	9,700	0,7979
Média de sulfetos mg/litro	25	183,539	91,480	199,000	20,4712
Média de DQO mg O <sup>2</sup> /litro	25	7063,880	3725,000	9076,000	898,5758
Média de DBO 5 mg O <sup>2</sup> /litro	25	2361,880	1685,000	2813,000	213,2925

Tabela 11 - Estatística descritiva dos resíduos gerados pelo processo produtivo com o arranjo físico original

Fonte: Dados calculados pela autora, 2007.

Os valores calculados demonstram que dentre diversos resíduos investigados, suas principais métricas descritivas apresentam um grau de variabilidade dos valores mínimos e máximos em relação às suas respectivas médias. Estes resultados são corroborados pelos valores obtidos para seus respectivos desvios padrões.

De maneira semelhante aos insumos de produção, os mesmos procedimentos estatísticos foram adotados para descrever o comportamento dos resíduos do processo

produtivo do curtume investigado em relação ao período posterior à alteração do arranjo físico de produção. Os resultados dessa análise são apresentados na tabela 12.

Variáveis	Amostra	Média	Mínimo	Máximo	Desvio-padrão
Efluentes gerados	23	1402,174	1164,000	1608,000	136,6561
Média de cromo mg/litro	23	18,865	17,980	19,610	0,5135
Média de PH por mês	23	6,798	6,010	7,660	0,4256
Média de sulfetos mg/litro	23	84,163	78,940	90,320	3,4047
Média de DQO mg O <sup>2</sup> /litro	23	3962,826	3644,000	4828,000	283,4681
Média de DBO 5 mg O <sup>2</sup> /litro	23	1784,870	1587,000	2084,000	126,2200

Tabela 12 - Estatística descritiva dos resíduos gerados pelo processo produtivo com o arranjo físico modificado.

Fonte: Dados calculados pela autora, 2007.

Através dos valores encontrados, pode-se observar que, dentro os diversos elementos resíduos analisados, suas métricas descritivas apresentam um menor grau de variabilidade dos valores mínimos e máximos encontrados em comparação ao período anterior à alteração do Arranjo Físico. Também pode ser observado que todos os valores médios calculados se mostraram inferiores em comparação aos valores médios referentes ao período anterior.

Tabela 13.

	Media anterior	Media posterior
Efluentes gerados	2150,000	1402,174
Média de cromo mg/litro	88,799	18,865
Média PH m3/FONT>	8,400	6,798
Média de sulfetos mg/litro	183,539	84,163
Média de DQO mg O <sub>2</sub> /litro	7063,880	3962,826
Média de DBO 5 mg O <sub>2</sub> /litro	2361,880	1784,870

Tabela 13 – Tabela comparativa entre as médias obtidas antes e depois da alteração do arranjo físico.

Fonte: Dados calculados pela autora, 2007.

A partir dos valores calculados para os insumos e resíduos referentes ao período anterior e posterior à alteração do arranjo físico de produção do curtume investigado, foi utilizado o teste não-paramétrico de Mann-Whitney U para avaliar se as diferenças de

intensidade encontradas podem ser consideradas como estatisticamente significativas. Os resultados referentes aos insumos de produção estão dispostos na tabela 14.

Variáveis	Soma de postos 1	Soma de postos 2	U	Z	p	Z	p	n 1	n 2
Volume de produção	665,0000	511,0000	235,0000	1,08347	0,278599	1,08347	0,278599	25	23
Consumo de água*	828,0000	348,0000	72,0000	4,44740	0,000009	4,44752	0,000009	25	23
Água m <sup>3</sup> /t*	863,0000	313,0000	37,0000	5,16971	0,000000	5,16971	0,000000	25	23
Consumo de energia	571,0000	605,0000	246,0000	-0,85646	0,391744	-0,85651	0,391719	25	23
Energia Kwh/t	506,0000	670,0000	181,0000	-2,19790	0,027957	-2,19790	0,027957	25	23
Consumo de cromo*	833,5000	342,5000	66,5000	4,56090	0,000005	4,56276	0,000005	25	23
Consumo cromo t/m <sup>3</sup> *	889,0000	287,0000	11,0000	5,70629	0,000000	5,70629	0,000000	25	23
Consumo sulfeto de sódio*	788,0000	388,0000	112,0000	3,62189	0,000292	3,62278	0,000291	25	23
Sulfeto de sódio t/m <sup>3</sup> *	808,0000	368,0000	92,0000	4,03465	0,000055	4,03476	0,000055	25	23
Consumo de cal*	815,5000	360,5000	84,5000	4,18943	0,000028	4,19079	0,000028	25	23
Consumo cal t/m <sup>3</sup> *	859,0000	317,0000	41,0000	5,08716	0,000000	5,08730	0,000000	25	23

Tabela 14 - Resultado da aplicação do Teste de Mann-Whitney-U sobre as diferenças entre os insumos utilizados pelo Arranjo Físico original e os insumos utilizados pelo Arranjo Físico modificado

Fonte: Dados calculados pela autora, 2007.

Notas: \* - valores significativos para  $p=0,01$ .

Foi observado que, excetuando as diferenças entre as médias referentes ao volume de produção, ao consumo de energia elétrica e a relação entre energia elétrica e o volume de produção, os valores médios se mostraram em níveis menores em comparação aos valores médios referentes ao período anterior, os demais insumos apresentaram reduções de consumo que podem ser consideradas como sendo estatisticamente significativas no que tange a minimização do impacto ambiental.

Este resultado aponta que a alteração do arranjo físico de produção melhorou o desempenho do processo produtivo do curtume investigado, uma vez que, mantidos os níveis de produção e de consumo de energia elétrica, todos os demais indicadores considerados tiveram seus valores reduzidos, minimizando desta forma os impactos ambientais.

Posteriormente, os valores calculados para os resíduos referentes ao período anterior e posterior à alteração do arranjo físico de produção do curtume investigado foram submetidos ao teste não-paramétrico de Mann-Whitney U para avaliar se as diferenças de intensidade encontradas podem ser consideradas como estatisticamente significativas. Os resultados referentes aos insumos de produção estão dispostos na tabela 15.

Variáveis	Soma de postos 1	Soma de postos 2	U	Z	p	Z	p	n 1	n 2
Efluentes gerados*	854,0000	322,0000	46,00000	4,983974	0,000001	4,984515	0,000001	25	23
Média de cromo mg/litro*	889,5000	286,5000	10,50000	5,716608	0,000000	5,717384	0,000000	25	23
Média de PH por mês*	873,0000	303,0000	27,00000	5,376088	0,000000	5,377548	0,000000	25	23
Média de sulfetos mg/litro*	900,0000	276,0000	0,00000	5,933303	0,000000	5,934914	0,000000	25	23
Média de DQO mg O <sup>2</sup> /litro*	880,0000	296,0000	20,00000	5,520551	0,000000	5,520701	0,000000	25	23
Média de DBO 5 mg O <sup>2</sup> /litro*	885,0000	291,0000	15,00000	5,623739	0,000000	5,624197	0,000000	25	23

Tabela 15 - Resultado da aplicação do Teste de Mann-Whitney-U sobre as diferenças entre os resíduos gerados pelo layout original e os resíduos gerados pelo Arranjo Físico modificado

Fonte: Dados calculados pela autora, 2007.

Nota: \* - valores significativos para  $p=0,01$ .

Foi observado que todas as diferenças entre as médias referentes aos resíduos do processo produtivo oriundos do período anterior à alteração do arranjo físico, em comparação aos valores médios referentes ao período posterior, apresentaram reduções de consumo que podem ser consideradas como sendo estatisticamente significativas.

Este resultado corrobora a afirmativa de que a alteração do arranjo físico de produção melhorou o desempenho do processo produtivo do curtume investigado quanto à minimização dos impactos ambientais, uma vez que, mantidos os níveis de produção e de consumo de energia elétrica, todos os indicadores referentes aos resíduos de produção tiveram seus valores reduzidos.

## 7 CONCLUSÃO

O objetivo deste trabalho de pesquisa foi avaliar o arranjo físico de processo produtivo como eco ferramenta que minimiza o impacto ambiental, sob o enfoque da otimização na utilização dos insumos e geração de efluentes. Mais especificamente, verificar se a alteração de um arranjo físico em linha, tradicionalmente utilizado em curtumes, para um arranjo físico ainda em linha, mas considerando os princípios da eco-eficiência, contribui para a redução do impacto ambiental.

O estudo desenvolvido neste trabalho possibilitou a realização do objetivo proposto, uma vez que ficou constatado que a verificação do estudo do projeto de arranjo físico, que já anteriormente foi considerado de grande importância para o bom andamento do processo produtivo, sob o enfoque dos princípios da eco-eficiência e a prática do desenvolvimento sustentável, são aliados de importância cabal.

A sua efetiva utilização pode, como ficou caracterizado no estudo de caso apresentado – Curtume do Centro Tecnológico do Couro e do Calçado Albano Franco- , obter resultados muito relevantes quanto à minimização dos impactos ambientais, principalmente caracterizada pela diminuição no volume de água utilizado no processo produtivo, diminuição no volume de químicos componentes do processo produtivo e, por fim, diminuição significativa no volume de efluentes destinados a tratamento na ETE para atender a legislação vigente.

Dentre outras possibilidades, conclui-se que o projeto de arranjo físico realizado com a consideração dos princípios de eco-eficiência pode fazer parte do grupo de ferramentas e métodos de melhoria, dentro das ferramentas de eco-eficiência, pois estas são usadas para auxiliar nas tomadas de decisões e na implementação de ações, que objetivam a redução do impacto ambiental dos produtos foco de estudo. Como ferramenta eco-eficiente, o arranjo físico deverá fazer parte do planejamento estratégico das empresas, para que a prática do

desenvolvimento sustentável possa ocorrer e, com isso, a manutenção das mesmas no mercado em longo prazo.

## ORIGINALIDADE

O ineditismo da presente proposta baseia-se no fato de que os arranjos físicos dos processos produtivos, da forma como estão sendo geridos, não estão sendo considerados como ferramentas eco-eficientes, não gerando, desta forma, uma ligação dos objetivos, metas e indicadores ambientais ao arranjo físico produtivo e à estratégia empresarial. Nesse sentido, pretende-se proporcionar, através de análise dessa pesquisa, às empresas os elementos necessários à utilização do arranjo físico do processo produtivo como ferramenta eco-eficiente, buscando a minimização dos impactos ambientais, e que estes sejam passíveis de integração com qualquer outro requisito de gestão, auxiliando no alcance de objetivos sustentáveis, ou seja, considerar simultânea e balanceadamente objetivos econômicos, sociais, ecológicos, culturais, espaciais e temporais das organizações.

Assim, informações sistêmicas, baseadas nos conceitos de sustentabilidade, revelarão as principais fragilidades ambientais do processo produtivo, que poderão ser transformadas em novas oportunidades, desde que respeitada a relação custo-benefício associada.

## CONTRIBUIÇÃO CIENTÍFICA

Tendo em vista que uma das principais atribuições do arranjo físico do processo produtivo está intimamente relacionada ao uso eficaz e eficiente dos recursos e do tempo, acredita-se que a proposta de retratar o arranjo físico como ferramenta eco-eficiente, buscando minimizar os impactos ambientais, trará importantes contribuições para a engenharia, à medida que auxiliará na integração dos objetivos, metas, programas e indicadores ambientais

aos temas estratégicos da organização no que tange à escolha do arranjo físico do processo produtivo.

Esta pesquisa permitirá que outras sejam baseadas na conceituação apresentada, abrindo caminho para que novos trabalhos científicos venham a motivar os empresários a incluir a variável ambiental em seus arranjos físicos de processos produtivos e sistemas estratégicos de gestão buscando a eco eficiência. A sistematização da avaliação microeconômica dos impactos ambientais deverá facilitar a incorporação da variável ambiental na gestão estratégica das organizações, principalmente pela esperada demonstração dos impactos positivos que ela proporcionará aos negócios, através da ratificação da sustentabilidade a médio e longo prazos e da demonstração obtida com a análise empírica dos dados.

#### SUGESTÕES DE TRABALHOS FUTURUS

Sugere-se a realização dos seguintes desdobramentos na pesquisa apresentada neste trabalho:

- a) Retratar o enfoque financeiro do impacto das normas ambientais nos processos produtivos.
- b) Desenvolver um estudo de gestão do processo produtivo com o arranjo físico como eco-ferramenta.
- c) ampliar o número de produtos na análise, aproximando a proposta de arranjo físico eco-eficiente para outros tipos de empresas;
- d) aplicar a metodologia em outros setores da economia regional visando o não desperdício do insumo água;

Durante a execução do projeto de alteração do arranjo físico do curtume, uma gama de possibilidades quanto às aplicações das análises e das técnicas proposta pelo SLP surgiram

para os demais setores da linha de produção do curtume como, por exemplo, no setor de tingimento e de calçados.

Surgiu também a idéia de um segundo projeto adicional, no qual se consideraria a empresa como um todo, a título de identificar o posicionamento individual de cada setor e em nível macro.

## REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

ACKOFF, R. L; SASIENI, M. W. **Fundamentals of Operations Research**. New York: John Wiley, 1967.

ADENSO DIAZ, B., GONZALES, P. E ALVAREZ, M.J. **Logística Inversa y Medio Ambiente**. McGraw Hill, 2004

AGENDA 21 DO BRASIL - **Um projeto de Nação em seu site**.

<http://www.ensp.fiocruz.br/publi/radis/tema18.html>

ALLENBY, B. R. Industrial ecology and design for environment. **In: Ecodesign 99: First International Symposium on Environmentally Conscius Design and Inverse Manufacturing**, 1., 1999, Tokyo. Proceedings... Tokyo: IEEE Computer society, Feb. 1999. p. 2-3.

ALMEIDA, J. **A construção social de uma nova agricultura**. Porto Alegre. Editora da Universidade. UFRGS, 1999.

ALMEIDA, F. **O bom negócio da sustentabilidade**. Editora Nova Fronteira – Rio de Janeiro – RJ. 2002

AMÂNCIO, R. **Introdução ao estudo de gestão e manejo ambiental. Curso de Pós graduação “Lato Sensu”** Especialização a distância Gestão e Manejo Ambiental. Lavras: UFLA/FAEPE, 2001.

ANDRADE, J. C. S.; MARINHO, M. M. O.; KIPERSTOK, A. Política ambiental focada na produção limpa: elementos para discussão com os setores produtivos. **In: SIMPEP – Simpósio de Engenharia de Produção VIII**, 2001, Bauru. Anais... Bauru: 2001.

APPLE, James L. **Plant layout and materials handling**. New York: Ronald Press Company, 1950.

APPLE, J. M. **Plant Layout and materials handling**, 3. ed. New York: J. Wiley, c1977. 488p. ISBN 0471071714

AQUIM, P.M.; GUTERRES, M. S. E TESSARO, I.. Industria do Couro – relação pele, produtos químicos, e água nos processos de ribeira e curtimento. **XV Congresso Brasileiro de Engenharia Química**, Curitiba, 2000.

AQUIM, P.M.; GUTERRES, M. S. E TESSARO, I. Análise de efluentes gerados nos procesos de ribeira e curtimento da industria do couro. **XV Congresso Brasileiro de Engenharia Química**, Curitiba, 2000.

ARRUDA, P. E. S. **Levantamento do estágio atual de implantação de Tecnologia de grupo e Células de Manufatura no estado de São Paulo**, Dissertação de Mestrado- Escola de Engenharia de São Carlos USP São Carlos São Paulo 1994.

ASKIN, R. G.; CIARALLO, F. W.; LUDGREN, N. H. An empirical evaluation of holonic and fractal layouts. **International Journal of Production Research** - 1999. v. 37, n.5, p. 961-978.

BAASCH, S. S. N. ; KIPPER,L.. . Uma proposta de gerenciamento de resíduos sólidos domiciliares a partir do estudo sistêmico dos fatores que influem na reciclagem de plásticos pós-consumo no município de Santa cruz do sul. **In:; Simpósio Internacional de qualidade Ambiental III > Gestão Ambiental Urbana e industrial**, 2002, Porto Alegre. Anais do III Simpósio Internacional de Qualidade Ambiental> Gestão Ambiental Urbana e industrial, 2002.

BACKER, P.: **Gestão Ambiental: A administração verde**. Qualitymark Editora LTDA. Rio de Janeiro - 2002.

BANDEIRA , A. P. V. **A aplicação do eco design em empresa mineira e a percepção dos funcionários: um estudo de caso**. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) - Universidade Federal de Minas Gerais, Minas Gerais 2003.

BADIN, N. T. **Modelo de referência para o processo de desenvolvimento de produtos integrando fornecedores e baseado nos conceitos de engenharia simultânea, custeio-alvo e empresa virtual**. Tese apresentada ao Programa de Pós- Graduação em Engenharia de Produção da Universidade Federal de Santa Catarina – Florianópolis – 2005.

BARBOSA, F. A. **Um estudo da Implantação da Filosofia Just In Time em uma empresa de grande porte e a sua integração ao MRPII**, Dissertação de Mestrado, Escola de Engenharia de São Carlos- USP - São Carlos. São Paulo 1999.

BARTLETT, H.; BAXEVANOGLU, A.; KOCHHAR, A.K. The application of systematic techniques to the re-layout of a low volume manufacturing system. **Journal of Engineering Manufacture, Institute Engineering Manufacture**, v. 208, n. 2, p. 89-102, Jun 1994.

BASF. **Case studies. World business council for sustainable development**. Disponível em: <<http://www.wbcsd.com/casestud/basf/index.htm>>. Acesso em: 4 jun. 2006.

BAYKASOGLU, A; GINDY, N. N. Z. – A simulated annealing algorithm for dynamic layout problem. **Computers & Operations Research**, v.28, p.1403-1426. 2003.

BELLEN, H. M.. 2003. Desenvolvimento sustentável: uma descrição das principais ferramentas de avaliação. **Ambiente e Sociedade**, v.7, n.1, jan./jun..

BELLEN, H. M.. 2006. **Indicadores de sustentabilidade: uma análise comparativa**. 2ed. Rio de Janeiro: FGV.

BELLO, C. V. V. **ZERO: uma proposta para o desenvolvimento sustentável, com enfoque na qualidade ambiental voltada ao setor industrial**. Dissertação (Mestrado). Programa de Pós Graduação em Engenharia da Produção – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, Santa Catarina 1998.



BENEDETTI, M. H.; LIMA, P.; SILVA, M.; VILAS BOAS, L. M.; Contribuições para o desenvolvimento sustentável: a experiência da logística de combustíveis. **In: Sociedade Latino Americana de Estratégia (Org.) Anais do XVII Congresso Latino Americano de Estratégia.** Itapema. SLADE. 2004

BENJAAFAR, S.; HERAGU, S. S.; IRANI, S. A. **Next Generation Factory Layouts: Research Challenges and Recent Progress.** 2002 *Interfaces*, v.32, n.6, p. 58-76, Nov-Dec USA -2002.

BENJAAFAR, S.; SHEIKHZADEH, M. – **Design of flexible plant layouts.** *IEE Transactions*, n.32, p. 309-322. USA- 2000.

BENJAAFAR, S. (2002). Modeling and analysis of congestion in the design of facility layouts. **Management Science**, v.48, n.5, p.679-704.USA.

BENJAAFAR, S., HERAGU, S.S., IRANI, S.A. (2002). Next generation factory layout: research challenges and recent progress. **Interfaces**, v.32, n.6, p.58-76.USA.

BEST, J. W. **Como investigar en educación.** 2. ed. Madrid: Morata, 1972.

BIDDLE, D. Recycling for profit: the new green business frontier. **Harvard Business Review**, v. 71, n. 6, p. 145-156, nov/dez. USA- 1993.

BIEKER, U. Ambient Intelligence Technology for Systematic Innovation in Manufacturing SMEs. **In: Am I Workshop on Collaborative Working Environments in Manufacturing: Challenges and Opportunities for EU Industry.** Brussels, 2006.

BISQUERRA, Rafael; SARRIERA, Jorge. Castellá; MARTÍNEZ, Francesc. Introdução à estatística. Porto Alegre: ARTEMD; 2004. 254 P.

BLACK, J. T. **O Projeto da Fábrica com Futuro**. Bookman, Porto Alegre, 1998.

BORBA, Mirna. **Arranjo Físico**. Universidade Federal de Santa Catarina Departamento de Engenharia de Produção e Sistemas, Florianópolis Santa Catarina 1998

BOOG, G. G. **O desafio da competência: como enfrentar as dificuldades do presente e preparar sua empresa para o futuro**. São Paulo. Editora Best Seller 1991.

BOOTHROYD G. ; ALTING L. Design for assembly and disassembly . CIRP annals (CIRP ann.) ISSN 0007-8506 **International Institution for Production Engineering Research annals - 1992**, vol. 41, no2, pp. 625-636

BOOTHROYD, G.; DEWHURST, KNIGHT. **Product design for manufacture and assembly**. Marcel Dekker Inc. 2001.

BORGES. F.Q. Layout Periódico - **Lato & Sensus** - Belém, v. 2, n. 4, p.5, dez, 2001.

BREZET, H.; VAN HEMEL, C. **Ecodesign: a promising approach to sustainable and consumption**. Anais eletrônico - 1996 Disponível em:

[http://www.inventas.no/ELCE\\_2000/toura.htm](http://www.inventas.no/ELCE_2000/toura.htm). acessado dia 24 de maio de 2007.

BRUNDTLAND, G. H. **Our Common Future**. World Commission on Environment and development, Oxford, 1987.

CALUWE, N. **Ecotools Manual: a comprehensive review of design for environmental tools**. United Kingdom: Manchester Metropolitan University, **Design for the environment research group**, 1997.

CAMAROTTO, João Alberto. **Estudo das relações entre o projeto do edifício industrial e a gestão da produção**. São Paulo. 1v.il. Tese Doutorado FAU/USP São Paulo 1998

CAMPOMAR, Marcos, C. (1991) Do uso do estudo de caso em pesquisa para dissertações e teses em administração. **Revista de Administração de Empresa**, São Paulo, v.26, n.3, p. 95-97, jul/set.

CAMPOS, V. F. **TQC: Controle da Qualidade Total no Estilo Japonês**. 6. ed. Rio de Janeiro; Fundação Christiano Ottoni Escola de Engenharia da UFMG, 1992.

CANEN, A. G. e WILLIAMSON G. H. (1998), Facility layout overview: towards competitive advantage, **Facilities** - Volume 16 Number 7/8, pp.198-203.

CARNEIRO, José Luis. **Organização e Métodos Arranjo Físico Layout**. Anais eletrônico. São Paulo-SP - 1998 [www.jlcarneiro.com.br](http://www.jlcarneiro.com.br) acessado 20 de setembro de 2006.

CARNEIRO, J. M. B.; MAGYAR, A. L.; GRANJA, S. I. B. Meio ambiente, empresário e governo: conflitos ou parceria? **RAE Revista de Administração de Empresas São Paulo**, 1 v. 33, n. 3, p. 68-75, 1993.

CEDARLEAF, Jay. **Plant Layout and Flow Improvement**. Bluecreek Publishing Co. Washington, 1994.

CHENG, F.; CHANG, C.; WU, S. Development of holonic manufacturing execution systems. **Journal of Intelligent Manufacturing**, n. 15, p. 253-267. 2004.

CHIADAMRONG, N.; O'BRIEN, C. Decision support tool for justifying alternative manufacturing and production control systems. **Int. Journal Production Economics**, 60-61. p. 177-186 1999. UK.

CHIAVENATO, I. **Introdução à Administração de Materiais**. São Paulo: Makron, McGraw-Hill, 1991.

CLAAS, I. C.; MAIA, R. A. M. **Manual Básico de Resíduos Industriais de Curtume**. Porto Alegre: SENAI / PADCT / CNPQ, 1994.

CNUMAD – Conferência das Nações Unidas sobre meio ambiente e desenvolvimento. **A Agenda 21**. Brasília: Senado Federal, Subsecretaria de Edições técnicas, 1996.

CORIAT, B., **A revolução dos robôs**, São Paulo, Busca Vida, 1988.

CONSTANZA, R. **Ecological economics: the science and management of sustainability.**

New York : Columbia Press 1991

DHONDT, Steven; BENDERS, Jos, Missing links: Production structures and quality of working life in the clothing industry, **International Journal of Operations and Production Management**; Volume 18 No. 12; 1998.

DIAZ, C. A. P.; PIRES, S. R. I. Produção Mais Limpa: Integrando Meio Ambiente e Produtividade. **RACRE Revista de Administração CREUPI Espírito Santo do Pinhal - SP**. V.5, n. 9, jan/dez 2005.

DONAIRE, D. **Gestão Ambiental da Empresa**. Editora Atlas. S. Paulo. 1999.

DONAIRE, D. Considerações sobre a influência da variável ambiental na empresa. **Revista de Administração de Empresas (RAE)**, v. 34, n. 2, p. 68-77, 1994.

DONALDSON, T. and PRESTON, L. E. The stakeholder theory of the corporation: concepts, evidence, and implications. **The Academy of Management Review**, v.20, n.1, p.65-91, 1995.

DO VALLE, C. E. **Como se preparar para as normas ISO 14000**. Rio de Janeiro: Qualitymark, 1997.

DUARTE, M. D. **Caracterização da rotulagem ambiental de produtos**. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis. SC 1997.

EFSTATHIOU, J.; GOLBY, P., Application of a simple method of cell design accounting for product demand and operation sequence, **Integrated Manufacturing Systems**; Volume 12 No. 4; 2001.

EISENHARDT, K. M.(1989). Building theories from case study research. **Academy of Management Review**, v.14, n.4, p.532-550.

ELIAS, S. J. B. & MAGALHÃES, L. C. Contribuição da Produção Enxuta para a obtenção da Produção mais Limpa. **XXIII Encontro Nacional de Engenharia de Produção – ENEGEP**, Ouro Preto, MG, Brasil – Anais ABEPRO, outubro, 2003.

ELKINGTON, J., KNIGHT, P. HAILES, J. **The Green Business Guide, How to take up and profit from**. The Environment Challenge, London: Vitor Gollancz Ltda, 1991

ELKINGTON, Jonh. Cannibals with Forks: **The triple bottom line of 21st century business**. Canada: NSP, 1998.

ELKINGTON, John. Petroleum in the 21st century: The triple bottom line: implications for the oil industry. **Oil & Gas**, v. 97, n. 50, dez. 1999.

ENGSTROM, T.; JONSSON, D.; MEDBO, L. - The Volvo Uddevalla plant and interpretations of industrial design processes, **Integrated Manufacturing Systems**; Volume 9 No. 5; 1998.

FERRARI, A. T. **Metodologia da ciência**. 2ª edição. Kennedy Editora e distribuidora. Rio de Janeiro. 1974.

FONT, J.; RIUS, A.; MARSAL, A.; SANCHES, D.; HAUBER, C.; TOMMASELLI, M.  
Prevention of Chromium(VI) formation by improving the tannery processes - **IULTCS – EUROCONGRESO** – Estambul – mayo - 2006

FORAY, D. & GRÜBLER, A. Technology and the environment: an overview. **Technological forecasting and social change**, v. 53, n.1, September 1996.

FORNASARI FILHO, N.; BRAGA, T. de O.; GALVES, M. L.; BITAR, O.Y.;  
AMARANTE, A. 2004. Alterações de processos do meio físico decorrentes de Usinas Hidrelétricas. **In: Seminário Nacional de Produção e Transmissão de Energia Elétrica**, 12, Recife. Anais... Recife RE/GIA/04, p. 01-06.

FRANCIS, R. L.; McGINNIS, L.F.; WHITE, J.A. **Facility Layout and Location: an Analytical Approach**. Prentice Hall do Brasil Ltda, Rio de Janeiro. 2 ed., 1992.

FRANCISCHINI, P.G.; FEGYVERES, A. Arranjo Físico. **In: Contador, J. C. (Coordenador). Gestão de Operações**. São Paulo, Fundação Vanzolini/Edgar Blücher, p. 591, Cap. 12. 1997.

FREEMAN, C. **The economics of hope**. London, Pinter, 1992.

FREEMAN, R. E. **Strategic Management: A stakeholder approach**. Boston: Pitman, 1984.

GARCIA, O. M. **Comunicação em prosa moderna: aprenda a escrever, aprendendo a pensar**. 7ª edição rev. e atual. Rio de Janeiro; Ed. Fundação Getulio Vargas, 1978.

GARDA, J. L. Sustentabilidad, el gran desafio **In: Congreso Latinoamericano de los químicos y técnicos de La industria Del cuero**. XVI 2004 Buenos Aires Argentina.

GHINATO, P., EDUCS, 1ª Edição, **Sistema Toyota de Produção: Mais do que simplesmente Just-In-Time**, 1996.

GHINATO **In: Produção & Competitividade: Aplicações e Inovações**, Ed.: Adiel T. de Almeida & Fernando M. C. Souza, Editora Universitária da UFPE, Recife PE 2000.

GIL, A. C. (1996) **Como elaborar projetos de pesquisa**. Ed. Atlas S. A. – São Paulo.

GIL, A. C. (1999) **Métodos e Técnicas de Pesquisa Social**. 5ª ed. Editora Atlas S. A. – São Paulo.

GILBERT, M. J. **ISO 14001/BS7750: sistema de gerenciamento ambiental**. São Paulo. IMAM, 1995.

GLAGOLA, J. R. **An Introduction to Strategic Facilities Planning**. Real Estate Issues, Spring, p. 13-15, 2002.

GODOY, A. S.(1995). Introdução à pesquisa qualitativa e suas possibilidades. **Revista de Administração de Empresas**, São Paulo, v.35, n.2, p. 57-63, Mar/Abr.

GOLDSMITH, E. ALLEN, R. ALLABY, M. DAVOLL, J. LAWRENCE, S. **Blueprint for survival**. Boston: Pequin Harmondsworth & Houghton Mifflin, 1972.

GOMES, F. L. **Enfoque sistêmico da agroecologia na sustentabilidade de sistemas de produção agrícola**. Monografia Departamento de Ciência do Solo da Universidade Federal de Lavras - Minas Gerais - 2005

GONÇALVES FILHO, E. V., **Arranjo Físico da fábrica – Um modelo para o processo de projeto e um algoritmo genético para a formação de células de fabricação**. Tese de Livre Docência – Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, São Carlos-SP. 2001.

GONÇALVES FILHO, E.V. (1988). **Computer-aided technology part family formation based on pattern recognition techniques**. 148f. Thesis (PhD in Industrial Engineering) - Department of Industrial and Management Systems Engineering, The Pennsylvania State University, 1988.

GONÇALVES FILHO, E.V. (2004a). **Projeto de Células de Fabricação**. 34p. Apostila.

GONÇALVES FILHO, E.V. (2004b). **Projeto de Arranjo Físico Fractal**. 9p. Apostila.

GONÇALVES FILHO, E.V. (2004c). **Projeto de Arranjo Físico Funcional**. 24p. Apostila.

GONÇALVES FILHO, E.V., GORGULHO JÚNIOR, J.H.C., ARGOUD, A.R.T.T. (2004). **Algoritmo genético para formação de células de fabricação**. In: **Encontro Nacional de**

**Engenharia de Produção**, 24, 2004, Florianópolis. Anais...Florianópolis: UFSC. (CD-ROM).

GOODE, W. J.; HATT, P. K. (1969) **Métodos em Pesquisa Social** – Editora nacional – São Paulo.

GORGULHO JÚNIOR, J.H.C. (2006). **Análise do desempenho dos arranjos físicos distribuídos em ambiente de programação de tarefas com flexibilidade de seqüência de fabricação**. 210f. Exemplar de Qualificação (Doutorado em Engenharia Mecânica) – EESC, Universidade de São Paulo, São Carlos, SP 2006.

GOUVINHAS, R. P. **Avaliação do ciclo de vida Preocupações ambientais no desenvolvimento de produtos**. Natal: Universidade Federal do Rio Grande do Norte. 2001.

GROOVER, M. P., **Automation, production systems and computer integrated manufacturing**, Prentice-Hall, Inc, 1987.

GREENE, T. J. e SADOWSKI, R. P. (1984), A Review of cellular Manufacturing Assumptions, Advantagens, and designn Techniques, **Journal of Operations Management**, Vol. 4, pg. 85-97.

GROOVER, M. P. **Automation, production systems, and computer- integrated manufacturing**. Ed. Prentice-Hall do Brasil Ltda., Rio de Janeiro 1987.

GUIMARÃES, R. P. Desenvolvimento Sustentável: da retórica à formulação de políticas públicas. In **BECKER, B. K.; MIRANDA, M. (orgs.). A Geografia Política do Desenvolvimento Sustentável** - Rio de Janeiro: Editora UFRJ, 1997.

HAAB, T. C.; McNNELL, K. E. **Valuing Environmental and natural resources: The econometrics of nonmarket valuation**. Londres: Edward Elgar Publishing, 2002.

HALL, D.J.; FORD, T.Q., **A quality approach to factory design? Industrial Management and Data Systems**; Volume 98 No. 6; 1998.

HAMED, M. M. e EL MAHGARY, Y. Outline of a national strategy for cleaner production: The case of Egypt. **Journal of Cleaner Production**. v. 12, n. 4, p. 327. 2004.

HARMON, ROY L.; PETERSON, L. D. **Reinventando a fábrica: conceitos modernos de produtividade aplicados na prática**. Rio de Janeiro: Campus, 1991.

HART, S. L. Beyond greening: strategies for a sustainable world. **Harvard Business review**, v. 75, n. 1, p. 66-76. 1997- USA.

HARTMAN, C.; HOFMAN, T. S.; STAFFORD, R. Partnership to sustainability. **Business Strategica and Environment**, nº 8 p. 255-266 – 1999. USA.

HENRIQUE, N. M. M.; Comércio internacional e seu impacto na cadeia de couro do Brasil. - **XVII Encontro Nacional da ABQTIC** – 13 a 15 de outubro 2005 – Gramado – RS.

HERAGU, S., MENG, G., ZIJM, H. E VAN OMMEREN, J.K. Design and Analysis of Reconfigurable Layout Systems (Memorandum no. 1604).

HOGAN, D. J. Mobilidade populacional, sustentabilidade ambiental e vulnerabilidade social. **Revista Brasileira de Estudos de População**. Volume 22 nº2 - São Paulo julho/dezembro 2005. ISSN 0102-3098

HUANG, G. Q. **Design for X: concurrent engineering imperatives**. London: Chapman & Hail, 1996. p. 01-17.

HUANG, H. (2003). **Facility layout using layout modules**. Thesis (PhD in Industrial and Systems Engineering), The Ohio State University, Columbus, 2003.

HUANG, H., IRANI, S.A. (2002). Facility layout: new ideas and methods for research and practice - hybrid cellular layouts. In: **Encontro Nacional de Engenharia de Produção, 22, International Conference On Industrial Engineering And Operations Management, 8, 2002, Curitiba**. Anais... Curitiba: PUCPR. (CDROM).

HYMAN, H. **Planejamento e análise da pesquisa; princípios, casos e processos**. Rio de Janeiro, Lيدador, 1967.

IANNI, Octavio. **Teorias da Globalização**. 4. ed. Rio de Janeiro: Civilização Brasileira, 1997.

IRANI, S. A.; CAVALIER, T. M.; COHEN, P.H. Virtual manufacturing cells: exploiting layout design and intercell flows for the machine sharing problem. **International Journal of Production Research**, v. 31, n.4, p. 791-810. 1993.

IRANI, S.A., HUANG, H. (1998). Layout modules: a novel extension of hybrid cellular layouts. **American Society of Mechanical Engineers (Paper)**, Anaheim, p.1-7. Anaheim – 1998.

IRANI, S.A., HUANG, H. (2000a). A new approach for department planning to minimize interdepartmental material handling traffic in a custom manufacturing facility. **In: INTERNATIONAL COLLOQUIUM ON MATERIAL HANDLING RESEARCH**, 6, 2000, York. Proceedings... York: Material Handling Institute.

IRANI S.A, ZHOU, J., HUANG, H. (2003). A pattern recognition approach for manufacturing facility compaction by machining function combination using flexible manufacturing modules. **Journal of Manufacturing Science and Engineering, Transactions of the ASME**, v.125, n.4, p.740-752.USA.

IRANI, S.A., HUANG, H. (2000b). Custom design of facility layouts for multiproduct facilities using layout modules. **IEEE Transactions on Robotics Automation**, v.16, n.3, p.259-267. 287 USA.

IRANI, S.A., HUANG, H. (2004). **Computer-aided Production Flow Analysis for Implementing JobshopLean (JSLEAN) Manufacturing in Custom Forge Shops**. Anais

eletrônicos Disponível em: < <http://cast.cse.ohio-state.edu/pfast/successStories.php>>. Acesso em: 11 set. 2006- USA.

IRANI, S.A., HUANG, H. (2006). Cascading flowlines and layout modules: practical strategies for machine duplication in facility layouts. **International Journal of Flexible Manufacturing Systems**, v.17, n.2, p.119-149.USA.

IRANI, S. A.; HUANG, H. – Custom design of facility layouts for multiproduct facilities using layout modules. **IEEE Transactions on Robotics and Automation**, v. 16, n. 3, June – 2000.USA.

IUCN/UNEP/WWF. World Conservation Strategy: living resource conservation for sustainable development. Gland, Switzerland & Nairobi, Kenya: **International Union for Conservation of Nature and Natural resources (IUCN) United Nations Environment Programme (UNEP) & World Wildlife Found (WWF)**, 1980.

KANNAN, Vijay R; GHOSH, Soumen, Cellular manufacturing using virtual cells, **International Journal of Operations and Production Management**; Volume 16 No. 5; 1996.

KAZMIERCZYK, P. Manual on the development of cleaner production policies approaches and instruments. **UNIDO CP Programme, Vienna, October 2002. Consultado em Anais eletrônico... <http://www.unido.org.abril> 2004.**

KERLINGER, Fred Nichols. **Metodologia da pesquisa em ciências sociais: um tratamento conceitual**. Tradução de Helena Mendes Rotundo; Revisão técnica de José Roberto Malufe. São Paulo: EPU; EDUSP. 3ª Reimpressão, 1973.

KIERNAN, M. J. **11 mandamentos da administração do século XXI**. São Paulo. Makron Books, 1995.

KING, A. A. e LENOX, M. J. Lean and green? An empirical examination of the relationship between lean production and environmental performance. **Production and Operations Management**, v.10, n. 3, p. 244-256. 2001.

KOSTROW, P. **The Facilities Planning Process**. Facilities Planning, Executive, p. 10-14, May-June, 1996. USA.

KO, K. C.; EGBELU, P. J. – Virtual cell formation. **International Journal of Production Research**, v.41, n.11, p. 2365-2389 – 2003. USA.

KOTLER, Philip. **Administração de Marketing** . Atlas, São Paulo, 1996.

KOTLER, Philip. **Marketing para o século XXI** .São Paulo: Futura, 1999.

KOTLER. P. e KELLER, K. L. **Administração de Marketing**. São Paulo: Pearson Education do Brasil Ltda. 2005.

KRAJEWSKI, L. J.; RITZMAN, L. P. **Operations Management: Strategy Analysis**. 5 ed. Addison-Wesley Longman, Inc, 1999.

KRIWET, A.; ZUSSMAN E. and SELIGER, G. (1995) - Systematic integration of design-for-recycling into product design. **International Journal of Production Economics**. Vol. 38, p.15-22.

KUO, Tsai-C.; HUANG, Samuel A. and ZHANG, Hong-C. (2001) - Design for manufacture and design for "X": concepts, applications and perspectives. **Computers & Industrial Engineering**. Vol. 41, n.3, p.241-260.

KUMAR, A.; MOTWANI, J., Case study: reconfiguring a manufacturing system for strategic advantage - a real-world application, **Logistics Information Management**; Volume 11 No. 4; 1998. USA.

LACKSONEN, T.; HUNG, C. **Project scheduling algorithms for re-layout projects**. IIE Transactions, v. 30, n. 1, p. 91-99, Jan 1998. USA.

LAHMAR, M., BENJAAFAR, S. (2005). **Design of distributed layouts**. IIE Transactions, v.37, p.303-318. USA.

LAKATOS, E. M.(1991) **Metodologia científica**. 2a ed. São Paulo: Atlas.

LAKATOS, E. M. ; MARCONI, M. A. (1991) **Fundamentos de Metodologia Científica**, 3ª ed. Editora Atlas S. A. – São Paulo.

LANNES, S. MODESTO Filho, P. Avaliação da Qualidade da Água Subterrânea na Área de Disposição do Lodo Proveniente da Estação de Tratamento do Curtume Berto-Várzea Grande/Mt - **22º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental** 14 a 19 de Setembro 2003 - Joinville - Santa Catarina II-211.

LAYRARGUES, P. P. Sistemas de Gerenciamento Ambiental, tecnologia limpa e consumidor verde: a delicada relação empresa-meio ambiente no ecocapitalismo. **ERA Revista de Administração de Empresas** Volume 40, nº2 p 80-88 Abril/junho 2000.

LAZZARINI, S. G. **Estudos de caso: Aplicabilidade e Limitações do Método para Fins de Pesquisa.** São Paulo: Economia&Empresa, v.2 n.4, p. 17-26, 1995.

LEAL, M. E. De la Rosa; Las ciencias administrativas y la sustentabilidad. **In: I Foro Nacional sobre la Incorporación de la Perspectiva Ambiental em la Formacion Técnica y Profesional.** San Luize Postosi México. 2003. p. 01-10.

LEE, Q.- IMAM, 1ª Edição, **Projeto de Instalações e do Local de Trabalho**, 1998.

LERIPIO, A.A.; SARAIVA, L.M.; POSSAMAI, O.; SELIG, P.M. O Sistema de Abastecimento de Água na perspectiva da Emissão Zero. **Prêmio CASAN de Ecologia, Florianópolis**, 1996. 20 p.

LERIPIO, A.A. & SELIG, P.M. (Org.) **Curso de Capacitação em Controle da Gestão Ambiental para Analistas de Controle Externo do Tribunal de Contas da União.**

Florianópolis, LED-LGQA, 1998. 387 p.

LERIPIO, A.A. & SELIG, P.M. GAIA – Uma metodologia de gerenciamento de resíduos fundamentada em desempenho ambiental. **In: V Congresso Nacional de Tecnología Textil. Buenos Aires – Argentina, 24-26 nov. 1999.** Universidad Católica Argentina.

LERÍPIO, Alexandre. **Gaia: um método de gerenciamento de aspectos e impactos ambientais.** 2001. Tese (Doutorado em Engenharia de Produção) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2001.

LERIPIO, A. A. **Emissão Zero: um Novo Conceito de Qualidade Total.** PPGE/UFSC, Florianópolis, 1997.

LEVIN, Jack. Estatística aplicada a ciências humanas. 2ed. São Paulo: HARBRA; 1987. 392p.

LIAO, T Warren; CHEN, L.J.; CHEN, Z.H.; COATES, E.R., A comparison of two approaches for designing line type cellular manufacturing systems, **Integrated Manufacturing Systems**; Volume 7 No. 1; 1996.

LIKER, J. Engineering for lean Manufacturing: a cross-functional process. **Automotive Design & Production**, v. 110, n. 12, p. 33-34, Dec 1998.

MAGRISE, M. A. - **Melhorias de Produtividade: Um estudo de caso em uma indústria de tintas**, Dissertação de Mestrado em Engenharia de Produção, Porto Alegre, UFRGS, RS, 2000.

MAIMON, D. **Empresa e meio ambiente**. Tempo e Presença, v. 14, n. 261, p. 49-51, 1992.

MARSH, R. F; MEREDITH, J. R; MCCUTCHEON, D. M.; - The life cycle of manufacturing cells, **International Journal of Operations and Production Management**; Volume 17 No. 12; 1997. USA.

MARTINS, P. LAUGENI, F. P. **Administração da Produção**. São Paulo: Saraiva, 1998.

MARTINS, S. R. **Sustentabilidade na Agricultura: Dimensões econômicas, sociais e ambientais**. Editora Científica Rural. URCAMP. Bagé, RS 1999, volume 4, nº 2, p. 17-187

MASON, E.R. Plant Layout requirements for the factory of the future. **AIPE Facilities Management, Operation and Engineering**, v. 16, n. 1, p. 32-35, Jan/Feb 1989.

MAYER, R. **Administração da Produção**. São Paulo: Atlas, 1990.

MAK, K.L. e WANG X.X. Production scheduling and Cell Formation for Virtual Cellular Manufacturing Systems. **The international journal of advanced manufacturing technology**. USA. Volume 20, Number 2/ July, 2002, p. 144-152

MEADOWS, D. (1998). **Indicators and Informations Systems for Sustainable Development**\_Hartland Four Corners: The Sustainability Institute, 1988.

MEADOWS, D. L., MEADOWS, D. H., RANDERS, J. & BEHRENS, W. W. 1972. **Limites do crescimento- um relatório para o Projeto do Clube de Roma sobre o dilema da humanidade**. São Paulo, Ed. Perspectiva.

MEDEIROS, M. A. A.; NOGUEIRA, J. M.; ARRUDA, F. S. T. **Valoração Econômica do meio Ambiente: Ciência ou empirismo?** Brasília: Cadernos de Ciência e Tecnologia. V. 17, n. 2. p. 81-115, Mai/Ago. 2000.

MEREDITH, J. R. - **The management of operations a conceptual emphasis**. 4 ed. Operation New York: John Wiley, 1992.

MEYER, M. M. **Gestão ambiental no setor mineral: um estudo de caso**. Dissertação (mestrado) Programa de Pós Graduação em Engenharia da Produção Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis - SC 2000.

MIERZWA, J.C.; HESPANHOL, I. **Água na indústria – Uso racional e reúso**. Editora: Oficina de Textos. São Paulo, 2005. 144 p.

MIRANDA, A. L. C. de. The public access to databases (SPA) in Brazil. In: **6º International Conference – New Information Technology 1993**, San Juan. NIT'93 Proceedings: Edited by Ching-Chih Chen, Boston: MicroUse Information, 1993. P. 241-246.

MIRATA, M. EMTAIRAH, T. Industrial symbiosis networks and the contribution to environmental innovation: The case of the Landskrona industrial symbiosis programme.

**Journal of Cleaner Production** 13 (2005) 993e1002 International Institute for Industrial Environmental Economics at Lund University, PO Box 196, Tegne'rsplatsen 4, 221 00 Lund, Sweden Accepted 21 December 2004

MITCHEL, R.C., CARSON, R.T. **Using surveys to value public goods: the contingent valuation method.** Washington: Resources for the future, 1989.

MITCHELL, B. (1997). Implementation. **In Resource and Environmental Management**, pp. 240–260. Harlow: Longman.

MITCHELL, R.K., AGLE, B.R., WOOD, D.J. (1997), Toward a theory of stakeholder identification and salience: defining the principle of who really counts, **The Academy of Management Review**, pp.853-86.

MONDEN, Y.- **IMAM, Produção sem Estoques uma Abordagem Prática ao Sistema de Produção da Toyota**, 1984, Rio de Janeiro- RJ.

MONTREUIL, B.; LEFRANÇOIS, P., VENKATADRI, U. Layout for chaos Holographic layout of manufacturing systems operation in highly volatile environments. Document de Travail 93-53, Anais ... **Groupe de Recherche en Gestion de La Logistique, Faculte dès Ciences de L'Administration**, Universeté Laval, Québec, Canadá. 1993.

MONTREUIL, B.; LEFRANÇOIS, P., VENKATADRI, U. Holographic layout of manufacturing systems. **Technical Report** n 91-76, Faculty of management, Laval University, Québec, Canada. 1991.

MONTREUIL, B.; VENKATADRI, U. Scattered layout of intelligent job shops operation in a volatile environment. **Proceedings of the International Conference on Computer Integrated Manufacturing, ICCIM**, Singapore. 1991.

MOORE, J. M. **Plant Layout And Design**. Macmillan Publishing CO. New York, 1962.

MOREIRA, D. Augusto. **Administração e operações**. 2. ed. São Paulo: Pioneira, 1996.

MOREIRA, D. A. **Administração da Produção e Operações**, Thomson Learning, pag.254-273. 2001- São Paulo.

MOURA, L. A. A. de. - **Economia ambiental: gestão de custos e investimentos**. São Paulo Editora Juarez de Oliveira. 2000.

\_\_\_\_\_ **Qualidade e Gestão Ambiental**. 2ª Ed. São Paulo: Juarez de Oliveira, 2000.

MMA – Ministério de Meio Ambiente, dos Recursos Hídricos e da Amazônia Legal.

**Avaliação de Impacto Ambiental: Agentes Sociais, Procedimentos e Ferramentas**.

IBAMA, Brasília, 1995, 134 p.

MUKHERJEE, G.; CHAKRABORTY, S. Studies on eco-friendly chrome tanning process – **XXVIII IULTCS Congress** – Florence – Italy – March – 9-12 – 2005.

MUNASINGHE, M. & MCNEELY, J. **Keys concepts and terminology of sustainable development.** Washington. D.C. The United Nations University & The World Bank. 1995

MUNASINGHE, M. Como os Economistas Vêm o Desenvolvimento Sustentável. **In: Finanças e Desenvolvimento.** pg. 16-19., v.13, n.4, FMI-Banco Mundial/FGV, dez. 1993.

MUTHER, R. **Planejamento do Layout: Sistema SLP.** Supervisão ITIRO IIDA. Tradução Elizabeth de Moura Vieira, Jorge Aiub Hijjar e Miguel de Simoni. São Paulo, Edgard Blücher. 1978

MUTHER, R. **Planejamento Sistemático e Simplificado das Células de Manufatura.** São Paulo: IMAM 1997.

MUTHER, R.; WHEELER, J.D. **Planejamento sistemático e simplificado de layout.** São Paulo: IMAM, 2000.

NASSIF, V. M.; HANASHIRO, D. M. M.; CARVALHO, V. A. C.; BENEDETTI, M. H. - Afinal, quem é o líder voltado aos princípios do desenvolvimento sustentável. **In.: ENANPAD, 2004.**

NOMDEN, G. SLOMP, J. (2003). The operation of virtual manufacturing cells in various physical layout situations. **Group Technology/Cellular Manufacturing World Symposium,** Columbus, Ohio, July 28-30.

NORTH, K. Environmental business management: an introduction. Geneva: International Labour Office, 1992. p. 35. **Management Development Series**, n. 30. Suíça.

OHNO, T., **O Sistema Toyota de Produção Além da Produção em Larga Escala**, Editora Bookman, 1997 São Paulo.

OLAVE, M. E. L. **Uma análise de redes de cooperação das pequenas e médias empresas do setor das telecomunicações**, Dissertação de Mestrado. São Paulo: 1998.

OLIVEIRA, D.P.R. de. - **Sistemas, organização e métodos: uma abordagem gerencial**. São Paulo: Atlas, 1998

OLIVÉRIO, J. L. - **Projeto de Fabrica Produtos Processos e Instalações Industriais**. IBLC – Instituto Brasileiro do Livro Científico Ltda. 1985 - São Paulo.

OZCELIK, F.; ISLIER, A. A. (2003) Novel approach to multi-channel manufacturing system design. **International Journal of Production Research**, v.41, n.12, p.2711-2726.USA.

PAIVA, A. - **Organizações Empresariais Celulares**. São Paulo, Makron Books, 1999.

PAIVA, P.R. de. - **Contabilidade Ambiental: evidenciação dos gastos ambientais com transparência e focada na prevenção**. São Paulo: Atlas, 2003.

PARKER, J. **Environmental Reporting and environmental Índices**. - Cambridge: PhD Thesis, Churchill College, 1991.

PARKER, D. & STACEY, R. **Caos, Economia e Administração**, Instituto Liberal, Rio de Janeiro, 1995.

**PEOPLE'S Century 1900-1999. Peter Pagnamenta.** London: BBC TV/WGBH Co-Production: BBC, 1996. 1 videocassete (52 min.) : son., leg.,color.; 12mm. VHS NTSC.

PORTER, J.M.; FREER, M.;BONNEY, M.C. Computer Aided Ergonomics and Workplace Design. **In: WILSON, J.; CORLET, N. (eds) Evaluation of Human Work: a Practical Ergonomics Methodology.** 2. ed., 1994.

PORTER, M. E. - Green and Competitive: Ending the Stalemate. **Havard Business Review**, Sept.-Oct., 1995, p.120-134.

PORTER, M. **Estratégia Competitiva - Técnicas para Análise de Industrias e da Concorrência** - Edição 2005 - Editora Campus – Rio de janeiro – RJ.

PORTER, M.E. e VAN DER LINDE,C. Toward a New Conception of the Environmental-Competitiveness Relationship. **Journal of Economic Perspectives** v. 9, n. 4, p. 97-118. 1995.

PRAHALAD, C. K. Os desafios do novo milênio. **Exame**, São Paulo, p. 126-132, 14 de junho de 2000.

PRATES, G. A. **Ecodesign utilizando QFD, métodos Taguchi e DFE.** Tese (Doutorado em Engenharia de Produção) Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 1998.

PRICE WATERHOUSE COOPERS AUDITORES. Passivo ambiental. **In Coleção Seminários CRC-SP / IBRACON: Temas contábeis em destaque.** São Paulo: Atlas, 2000.

PRONK, J. Sustainable Development: from concept to action. **The Hague Report.** New York: United Nations Development Programme, 1992.

RAMOS, J. **Alternativas para o projeto ecológico de produtos.** Tese (Doutorado em Engenharia de Produção) Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis. 2001.

REBELO, S. **Gestão ambiental participativa: a lacuna entre a proposta e a implementação.** Dissertação (mestrado) Programa de Pós Graduação em Geografia Universidade Federal de Santa Catarina. SC 1998.

REED Jr., R. **Plant layout: factors, principles and techniques.** Homewood: Richard D. Irwin, 1971.

ROTHENBERG, S.; PIL, F. K. e MAXWELL, J. Lean, green, and the quest for superior environmental performance. **Production and Operations Management.** V. 10, n. 3, p. 228-244, 2001.

RODRIGUES, G. S. - **Avaliação de impactos ambientais em projetos de pesquisas: fundamentos, princípios e introdução a metodologia.** Jaguariaúna: Embrapa, 1998. 66 p.

RODRIGUEZ, M. Á.; RICART, J. E. **Dirección Medioambiental de la Empresa.**  
International Conference - New Information Technology., 1993, San Juan. NIT '93  
Proceedings; Edited by Ching-chih Chen. Boston: MicroUse Information, 1993. p.241 246

RODRIGUEZ, M. Á.; RICART, J. E. SANCHEZ, P. **Sustainable development and  
suatainability of competitive advantage: a dynamic and sustainability view of the firm.**  
Barcelona: Gestión ,1998.

RODRÍGUEZ, A. G. et al.: Imposición Ambiental y Reforma Fiscal Verde:  
Tendencias Recientes y Análisis de Propuestas, **Departamento de Economía Aplicada  
da Universidade de Vigo**, consultado em 18 de Outubro de 2002.

<http://www.minhac.es/ief/Seminarios/EconomiaPublica/ImposicionAmbiental.PDF>

RODRIGUEZ, M.A.; RICART, J. E. Ricart; SANCHEZ, P. Sustainable development and  
sustainability of competitive advantage: a dynamic and sustainable view of the firm.  
**Departamento de Economía Aplicada da Universidade de Vigo**, consultado em 18 de  
Outubro de 2002.

<http://www.minhac.es/ief/Seminarios/EconomiaPublica/ImposicionAmbiental.PDF>

ROSSI, M. S.; BROWN, H. S.; BAAS, L. W. Leader in sustainability development: how  
agent of change be fine the agenda. **Business Strategic and Environment**, nº9, p. 273-286,  
2000. USA.

RUSCHEINSKY, A. Meio ambiente e percepção do real: os rumos da educação ambiental nas veias das ciências sociais. **Revista Eletrônica do Mestrado em Educação Ambiental**. Volume 7 – outubro/novembro/dezembro de 2001. ISSN 1517-1256

SAAD, S. M.; LASSILA, A. M. (2004) Layout design in fractal organization. **International Journal of Production Research**, v. 42, n. 17, p. 3529-3550

SACHS, I. **Estratégias de transição para o século XXI: desenvolvimento e meio ambiente**. São Paulo, Studio Nobel & Fundap. 1993.

SALING, P.; KISCHERER, A.; DITRICCH-KRAMER, B.; WITTINGLER, R; ZOMBIK, W.; SCHIMIDT, I; SCROTT, W. E SCHIMIDT, S. – Eco-efficiency analysis by BASF: the method. **In: Life Ciclee management**. 2002. p. 01-16.

SANCHES, C. S. Gestão ambiental Pró ativa. **Revista de Administração de Empresas**, v. 40, n. 1, p. 76-87. 2000.

SARKER, B. R.; LI, Z. (2001). Job routing and operations scheduling: a network-based virtual cell formation approach. **Journal of the Operational Research Society**, n.52, p.673-681.

SAVI M.A., SA M.A.N., PAIVA A. & PACHECO P.M.C.L., Tensile-Compressive symmetry Influence on Shape Memory Alloy System Dynamics. **In: Chaos, Solitons & Fractals**, 2006. ISSN 0960-0779.

SCHEIBE, E. POHREN, E.; Aspectos econômicos e ambientais do curtimento ao cromo no século XXI. – **XVII Encontro Nacional da ABQ TIC** – 13 a 15 de outubro 2005 – Gramado – RS.

SEBRAE – Serviço Brasileiro de Apoio às Micro e Pequenas Empresas. Portal SEBRAE/RS – Consultoria – Ecodesign/Conceito, Rio Grande do Sul, 2004. Disponível em : [http://www.2.sebrae-rs.com.br/consultoria/ecodesign\\_conceito/default.asp](http://www.2.sebrae-rs.com.br/consultoria/ecodesign_conceito/default.asp). Acesso em 03/03/2004.

SENAC. **SENAC e Educação Ambiental**, n. 5, p. 30-33, 1996.

SHA, D Y; CHEN, C.-W. - A new approach to the multiple objective facility layout problem, **Integrated Manufacturing Systems**; Volume 12 No. 1; 2001

SHINGO, S. - **Study of Toyota production system from industrial engineering viewpoint**. Tokyo, Japan Management Association, 1981.

SHINGO, S. - **Non-stock production: the Shingo system for continuous improvement**. Cambridge, Massachusetts, Productivity Press, 1988.

SHINGO, S. - **O Sistema Toyota de Produção do Ponto de Vista da Engenharia de Produção**, 1996. Editora - Bookman, São Paulo.

SILVA, A. L. e RENTES, A. F. (2002), Tornado o layout enxuto com base no conceito de mini-fábricas de produção: um estudo de caso, **ENEGEP 2002**.

SILVA, B. A. **Contabilidade e meio ambiente: considerações teóricas e práticas sobre o controle dos gastos ambientais**. São Paulo: Annablume/Fapesp 2003

SILVA, L. S. A. QUELHAS, O. L. G. O impacto da sustentabilidade no custo de financiamento das empresas. **XIII SIMPEP – Simpósio de Engenharia de Produção** - Bauru – SP – 2006

SILVA, P. R. S. AMARAL, F. G. MAICAPI – Metodologia para avaliação de impactos e custos ambientais em processos industriais: estudo de caso. **Revista de Engenharia Sanitária e Ambiental**. Volume 11 nº 3 Rio de Janeiro – Julho/Setembro – 2006. ISSN 1413-4152.

SILVEIRA, G. **Layout e Manufatura Celular**. Porto Alegre: PPGEP/UFRGS Apostila não publicada, 1998.

SILVER, Mick. Estatística para administração. São Paulo: ATLAS; 2000.458p.

SLACK, N.; CHAMBERS, S.; JOHNSTON, R. - **Administração da Produção**. 2ª ed. São Paulo: Atlas, 2002.

SLACK, N.; CHAMBERS, S.; HARLAND, C.; HARRISON, A.; JOHNSON, R. (1996). **Administração da Produção**, Ed. Atlas S.A., São Paulo.

SLACK,N; CHAMBERS, S; HARLAND, C; HARRISON, A.; JOHNSTON, R.,

**Administração da Produção**, Ed. Atlas S.A. 1997.

SOUSA, A.; PEROBA, L. E. e OLIVEIRA, R. C. Meio ambiente e competitividade: Analise dos sistemas produtivos. **Meio Ambiente Industrial**, ed. 47, n.46, ano VIII, p. 96-101, jan/fev, 2004.

SOUZA, M. T. S. de. Rumo à prática empresarial sustentável. **RAE Revista de Administração de Empresas**, v. 33, n. 4, p. 40-52, 1993.São Paulo.

STACHOWIAK, A. FERTSCH, M. The Data Used in Agile Facility Layout Design Procedure. **Proceedings of the Fifth Asia Pacific Industrial Engineering and Management. Systems Conference. 2004 - Faculty of Computing and Management - Poznan University of Technology, Poznan, Poland.**

STANDARD C.; DAVIS, D. **Running Today's Factory**, Hanser Gardner Publication, Copyright. 1999.

STEAD, J. G. e STEAD, E. Eco-enterprise strategy: standing for sustainability. **Journal of Business Ethics**. V. 24. nº 4, p. 313-329, Abril, 2000.

STEVENSON, William J. Estatística aplicada a administração. São Paulo: HARBRA; 1986. 495p.

STOCKTON, D.J.; LINDLEY, R.J., Implementing Kanbans within high variety/low volume manufacturing environments, **International Journal of Operations and Production Management**; Volume 15 No. 7; 1995.

STREIT, K. F.; XAVIER, J. L. N.; GONDRAN, E.; RODRIGUES, A A S. ; BERNARDES, A.M.; FERREIRA, J. Z. Reciclagem de água de processos de curtimento. **XVII Encontro Nacional da ABQ TIC** – 13 a 15 de outubro 2005 – Gramado – RS.

STROBEL e SELIG,(2004); BELLEN, 2004 **Indicadores de sustentabilidade: uma análise corporativa.**

SWEATMAN, A.; SIMON, M. Design for environment tools and product innovation. **In: 3rd International Seminar o Life Cycle Engineering, “Eco-Performance`96, ETH Zurich, Switzerland, 1996.**

THIOLLENT, Michael. Pesquisa-Ação nas organizações. São Paulo: Atlas, 1997.

TIBERTI, A.J. (2003). **Desenvolvimento de um software de apoio ao projeto de arranjo físico de fábrica baseado em um framework orientado a objeto.** 182f. Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica), EESC, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2003.

TOFFLER, A. - **Powershift: As Mudanças do Poder.** Ed. Record, 4a. ed., RJ, 1995.

TOMPKINS, J.A.; WHITE, J.A. **Facilities planning.** New York: John Wiley & Sons, 1984.

TOMPKINS, J.A, WHITE, J.A, BOZER, Y.A, FRAZELLE, E.H, TANCHOCO, J.M.A e TREVINO, J. **Facilities Planning**- 3rd ed. 750p. Editora John Wiley e Sons, Inc. Copyright. 1996.

TORRES, I. **Integração de Ferramentas Computacionais Aplicadas ao Projeto e Desenvolvimento de Arranjo Físico de Instalações Industriais**. Dissertação (Mestrado), programa de pós-graduação em Engenharia de Produção, Universidade Federal de São Carlos, dez. 2001.

UNIDO United National Industrial Development Organization – 2004

UNIDO – United Nations Industrial Development Organization. In: NGO FORUM ON CLEANER INDUSTRIAL PRODUCTION, 1995, Austria. Oct, 1995.

UNEP/UNIDO. Cleaner production assesment manual. Part one- introduction to cleaner production. Draft, 1995. UNEP (UNITED NATIONS ENVIRONMENTAL PROGRAMME). Disponível em: < [www.unep.org](http://www.unep.org) >. Acesso em: 14 mar. 2003.

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO. Diretrizes para apresentação de dissertações e teses da USP. São Paulo: USP, 2004.

US-EPA, Office of Pollution Prevention and Toxics, Pollution Prevention Division. The use of life cycle assessment in environmental labeling programs. Elaborado por Julie Wintes Lynch, Washington, D.C., setembro, 1993.

VALLE, C. E. **Qualidade Ambiental: como se preparar para as normas ISO 14000**. São Paulo: Pioneira, 1995.

VARGAS, N. e FLEURY, A.C.C. **Organização do Trabalho**. 1ª. Edição. São Paulo. Ed. Atlas, 1981.

VENKATADRI, U.; RARDIN, R. L.; MONTREUIL, B. (1997). A design methodology for fractal layout organization. **IEE Transactions**, n.29, p. 911-924.USA.

VENZKE, C. S. **A situação do ecodesign em empresas moveleiras da região de Bento Gonçalves, RS: análise da postura e das práticas ambientais**. .Dissertação (Mestrado em Administração) Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2002.

VERGARA, Sylvia C. **Projetos e relatórios de pesquisas em administração**. São Paulo: Atlas, 2000.

VIEIRA, F. G. D.; ARRUDA, R. S. V.; SILVA, W. R. - Organizações, Cultura e Natureza: Um Estudo sobre os Perigos e Riscos Ambientais do Uso de Automóveis no Mercado Brasileiro. **Gestão.Org – Revista Eletrônica de Gestão Organizacional** Volume 1, Número 2, Julho/Dezembro 2003 ISSN 1679-1827

VILLAR, A. M.; NOBREGA JUNIOR, C.L. **Planejamento das instalações industriais**. João Pessoa: Editora Manufatura – 2004.

VILLIERS, Marq de; tradução José Kocerginsky – **Água** – Rio de Janeiro – RJ. Editora Ediouro, 2002.

WALTER, Alexandre, **Um método de modelagem de sistemas de produção de serviços baseado no mecanismo da função produção**, Dissertação de Mestrado em Engenharia de Produção, Porto Alegre, UFRGS, 2000.

WANG, L. (2001). Integrated design-to-control approach for holonic manufacturing systems. **Robotics and Computer Integrated Manufacturing**, n. 17, Issues 1-2, p. 159-167.

WARNECKE, H. J. **The fractal company – a revolution in corporate culture**. Berlin, Germany, 1992, reprint, New York: Springer- Verlag. 1993.

WBCSD. **Ecosystem Challenges and Business Implications**. 2006.

WCED- World Commission on Environment and Development. **Our common future**. Oxford: Oxford University Press, 1987.

WELSH, C. N.; HERREMANS, I. M.; Tread sofly: adopting environmental management in the atart-up phase. **Journal of Organizational Change Management**. V. 11, n. 2, p. 145-155. Bradford, 1998.

WEULE, H. Life-Cycle Analysis – A strategic element for future products and manufacturing technologies, **Annals of the CIRP**, 1993.

WHEELER III, W. A. The revival in reverse manufacturing. **Journal of Business Strategy**, v. 13, n. 4, p. 8-13, jul/aug. 1992.

WHEELER, K.A. Sustainability from five perspectives. In **K. A. Wheeler & A. P. Bijur (Eds.). Education for a Sustainable future. A paradigm of hope for the 21st century.** New York: Kluwer Academic. 2000.

WILKINSON, A.; HILL, M.; GOLLAN, P. The sustainability debate. **International Journal of Operations & Production Management**. V. 21, n.12, p. 1492-1500, 2001.

WOMACK, J.P.; JONES, D. T.; ROSS, D. - **A Máquina que Mudou o Mundo**, Campus, 14ª Edição 1992.

WORLD BUSINESS COUNCIL FOR SUSTAINABLE DEVELOPMENT. **Building the business case for sustainable development.** Sustain issue, n.17, oct. 2001. disponível em <http://www.wbcd.com>. Acesso em 30 de julho de 2003.

WRENNALL, W. **Facilities planning and design a foundation stone of the BPR pyramid.** **Industrial Management**, Institute of Industrial Engineers, v. 39, n. 4, p. 7-11, 1997.

WULLINK, G. ; GIEBELS, M. M. T.; KALS, H. J. J. (2002). A system architecture for holonic manufacturing planning and control (EtoPlan). **Robotics and Computer Integrated Manufacturing**, n. 18, Issues 3-4, p. 313-318.

XAVIER, L.H.S.M. **Sistemas logísticos e a gestão ambiental no gerenciamento do ciclo de vida de embalagens plásticas**. Tese( Doutorado em Ciências em Engenharia de Produção) – Universidade Federal do Rio de Janeiro. 2005.

YANG, T.; CHAO-TON, S.; YUAN-RU, H. Systematic layout planning: a study on semiconductor wafer fabrication facilities. **International Journal Of Operations Production Management**, vol. 20, n. 11, p. 1359-71, 2000.

YANG, T.; PETERS, B.A. A spine layout design method for semiconductor fabrication facilities containing automated material handling systems. **International Journal Of Operations Production Management**, vol. 17, n. 5, p. 490-501, 1997.

YIN, R.K. **Estudo de caso: planejamento e método** . Porto Alegre: Bookman, 2001.

ZATTAR, I. C. (2004). **Análise da aplicação dos sistemas baseados no conceito de capacidade finita nos diversos níveis da administração da manufatura através de estudos de caso**. Dissertação (mestrado), programa de pós-graduação em Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, ago.

ZBONTAR, L. GLAVIC, P. Total site: wastewater minimization. Wastewater reuse and regeneration reuse. **Resources, Conservation and Recycling**, volume 3, p. 261-275, 2000.

## LEGISLAÇÃO

\_\_\_\_\_ Brasil (Legislação), Lei nº 9.433 , de 08 de janeiro de 1997. Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, regulamenta o inciso XIX do art. 21 da Constituição Federal e altera o art. 1º da Lei nº 8.001, de 13 de março de 1990, que modificou a Lei nº 7.990, de 28 de dezembro de 1989.

\_\_\_\_\_ CNRH, Resolução nº 54, de 28 de novembro de 2005. Estabelece modalidades, diretrizes e critérios gerais para a prática de reúso direto não potável de água.

\_\_\_\_\_ Rio de Janeiro (Legislação), Lei nº 4.247, de 16 de dezembro de 2003. Dispõe sobre a cobrança pela utilização dos recursos hídricos de domínio do Estado do Rio de Janeiro e dá outras providências.

\_\_\_\_\_ Rio de Janeiro, Projeto de Lei nº 1.350/2004. Torna obrigatória a utilização de sistema de reúso de água servida e o uso das águas pluviais para fins não potáveis nas edificações que especifica, situadas no Estado do Rio de Janeiro.

\_\_\_\_\_ CEIVAP, Deliberação nº 8, de 06 de dezembro de 2001. Dispõe sobre a implantação da cobrança pelo uso dos recursos hídricos na Bacia do Rio Paraíba do Sul a partir de 2002.

\_\_\_\_\_ CEIVAP, Deliberação nº 15, de 04 de novembro de 2002. Dispõe sobre medidas complementares para a implantação da cobrança pelo uso de recursos hídricos na Bacia do Rio Paraíba do Sul a partir de 2002, em atendimento a Deliberação CEIVAP nº 08/2001.

\_\_\_\_\_ Comitês PCJ, Deliberação conjunta nº 025/05, de 21/10/2005; alterada pela Deliberação conjunta dos Comitês PCJ nº 027/05, de 30/11/2005, ANA, FIESP, SindusCon-SP, COMASP, Conservação e reuso de água em edificações. São Paulo, 2005. Hespanhol, I.; Gonçalves, O.M. (Coordenadores), Conservação e Reúso de Água – Manual de Orientações para o setor industrial – Volume 1. Organização FIESP/CIESP. São Paulo, 2004.

### SITES PESQUISADOS

BT Sustainable Development., search site, “<http://search.bt.com/>”, ou

“<http://www.bt.co.uk/world/environment/doc.htm>;

The environmental council – business and environment program,

“<http://www.greenchannel.com/tec>”;

Australian Agency for International Development – AusAid – Environment

Assessment, “<http://www.usaid.gov/publications/policy/envguide.pdf>”;

Global Environment Outlook – United Nations Environment Programme,

“[http://www.grida.no/prog/global/ge01/ch/ch1\\_1.htm](http://www.grida.no/prog/global/ge01/ch/ch1_1.htm)”;

National Library of Energy Science and Technology,

“<http://apollo.osti.gov/html/osti/nlest.html>”;

Environmental Protection Agency, Implementation Guide for the Code of Environmental Management Principles for Federal Agencies (CEMP), “<http://es.epa.gov/oeca/cemp/>”;

Environmental Protection Agency, “<http://www.epa.gov/epahome/search.html>”;

- EPA – Region 8 – Technical Library ;”<http://www.epa.gov/unix0008/lib/env>”;
- . United States Department of Energy – Office of Fossil Energy. “<http://www.fe.doe.gov>”;
- . Electric Power Research Institute, “<http://www.epri.com>”;
- . Georgia AirKeepers Campaign Homepage, “<http://www.airkeeper.org>”;
- . US – EPA – Design for Environment, “<http://www.mcc.com/env/epa.html>”;
- . EPA – Environment Assessment Resource Guide, “<http://www.epa.gov/grtlakes/seahome/>”;
- . ISO 14.000 Infocenter – Capaccio Environmental Engineering Inc.,  
“<http://www.iso14000.com>”;
- . National Science Foundation, <<http://www.nsf.gov>>;
- . Quality Network, “ <http://www.quality.co.uk/iso14000.htm>”;
- . University of Central Florida, “<http://www.bus.ucf.edu>”;
- . Eldis Project, Institute of Development Studies, University of Sussex,  
“<http://nt1.ids.ac.uk/eldis/>”;

. Environment by Kenneth Friedman,

**“<http://www.suite101.com/article.cfm/environment/5626>”;**

. The Colorado Internet Center for Environmental Problem Solving,

**“<http://www.colorado.edu/UCB/AcademicAffairs/conflict/environment>”;**

. Global Environmental Management Initiative, **“<http://www.gemi.org>”;**

. United Nations Environment Programme, **“<http://www.unep.org/>”;**

. United States Department of Energy, **“<http://www.doe.gov/EnergyFiles/>”;**

. United States Environmental Protection Agency, **<http://www.epa.gov/glnpo/seahome/>.**