

**UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
FACULDADE DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA FLORESTAL**

**BALANÇO DE MATERIAIS NA GESTÃO AMBIENTAL DA
CADEIA PRODUTIVA DO CARVÃO VEGETAL PARA
PRODUÇÃO DE FERRO GUSA EM MINAS GERAIS**

ALEXANDER RUDOLPH MARIN SABLowski

ORIENTADOR: JOSÉ IMAÑA ENCINAS

CO-ORIENTADOR: ARMANDO CALDEIRA-PIRES

TESE DE DOUTORADO EM CIENCIAS FLORESTAIS

PUBLICAÇÃO: PPGEFL.TD – 002/2008

BRASÍLIA/DF: FEVEREIRO – 2008

FICHA CATALOGRÁFICA

SABLOWSKI, ALEXANDER RUDOLPH MARIN

Balanço de materiais na gestão ambiental da cadeia produtiva do carvão vegetal para produção de ferro gusa em Minas Gerais [Distrito Federal] 2008.

xx, 164 p., 210 x 297 mm (EFL/FT/UnB, Doutor, Tese de Doutorado – Universidade de Brasília. Faculdade de Tecnologia.

Departamento de Engenharia Florestal.

1. Ecologia industrial

2. Fluxos mássicos

3. Gestão ambiental

4. Economia ambiental

I. EFL/FT/UnB

II. Título (série)

REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

Sablowski, A.R.M. (2008). Balanço de materiais na gestão ambiental da cadeia produtiva do carvão vegetal para produção de ferro gusa em Minas Gerais. Tese de Doutorado em Ciências Florestais, publicação PPGEFL.TD – 002/2008, Departamento de Engenharia Florestal, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 164 p.

CESSÃO DE DIREITOS

AUTOR: Alexander Rudolph Marin Sablowski.

TÍTULO: Balanço de materiais na gestão ambiental da cadeia produtiva de carvão vegetal para produção de ferro gusa em Minas Gerais

GRAU: Doutor

ANO: 2008

É concedida à Universidade de Brasília permissão para reproduzir cópias desta Tese de Doutorado e para emprestar ou vender tais cópias somente para propósitos acadêmicos e científicos. O autor reserva outros direitos de publicação e nenhuma parte dessa tese de doutorado pode ser reproduzida sem autorização por escrito do autor.

Alexander Rudolph Marin Sablowski
Rua Avanhandava 921 ap. 31 Bela Vista.
01306-001 São Paulo – SP – Brasil.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a todos que incentivaram e apoiaram o desenvolvimento deste projeto. Em especial aos meus pais, Dina Marin Sablowski e Werner Rudolf Sablowski. A minha esposa Viviane Castro. Minha tia Anneliese Sinn e seu companheiro Hans Schwihel. Meus amigos Carlos Rogério Oliveira Paes, Jorge Grudyzh, Márcio Adriano Araújo, Marina Corbucci, Arnaldo Saldanha, Carlos Baigorri e Antonio Pedro Souza. Meus irmãos e respectivo esposo e esposa, Andrea Carrillo Bianchi & Guillermo Carrillo Bianchi e Robert Werner Sablowski & Eugenia Sablowski. Aos meus mestres José Imaña Encinas, Armando Caldeira-Pires, Ailton Teixeira do Vale, Ildeu Soares Martins, Joaquim Gonzalez e Jorge Madeira Nogueira. A equipe do Departamento de Engenharia de Ciclo de Vida da Universidade de Stuttgart. E a todos os amigos e companheiros de viagem aqui na terra.

Dedicado às futuras
gerações, com a esperança de que
o presente delas seja a
sustentabilidade que buscamos
hoje.

RESUMO

BALANÇO DE MATERIAIS NA GESTÃO AMBIENTAL DA CADEIA PRODUTIVA DO CARVÃO VEGETAL PARA PRODUÇÃO DE FERRO GUSA EM MINAS GERAIS

Autor: Alexander Rudolph Marin Sablowski

Orientador: José Imanã Encinas

Co-orientador: Armando Caldeira Pires

Programa de Pós-graduação em Ciências Florestais

Brasília, Fevereiro de 2008

O “balanço de materiais” é uma metodologia para análise ambiental desenvolvida na ciência “Ecologia Industrial - EI”. A EI busca na equiparação de sistemas industriais a sistemas bióticos, o conceito de “metabolismo industrial” e visa a melhoria da performance ambiental dos processos produtivos. Na análise conceitual do balanço de materiais o objetivo principal deste trabalho foi avaliar a sua capacidade de prognóstico e diagnóstico dos problemas ambientais referentes aos fluxos mássicos existentes. Para a avaliação de performance ambiental foram utilizadas quatro metodologias observando o fluxo de carvão vegetal utilizado na produção de ferro gusa em Minas Gerais. As metodologias foram: avaliação da capacidade de suporte do setor de produção de eucalipto do estado para cumprimento do “Plano de Auto Suprimento – PAS” constante no Artigo 1º do Decreto N°. 44117 (2005), análise dos impactos ambientais através da “Avaliação do Ciclo de Vida – ACV”, avaliação das externalidades existentes na cadeia produtiva através do conceito de falhas de mercado existente na Economia Ambiental e o indicador “Sablowski 2”. Ressaltando-se que o indicador Sablowski 2 foi desenvolvido neste trabalho e tem como objetivo facilitar a atuação dos gestores de produção sobre a redução da carga ambiental dos processos de produção, que são expressas pelas diferentes categorias de impacto. A cadeia de ferro gusa a base de carvão vegetal no estado de Minas Gerais não é capaz de cumprir o PAS com a sua própria oferta de carvão produzido com madeira de eucalipto. O valor de sua performance ambiental utilizando o indicador Sablowski 2 foi de 10,15%. O baixo valor é função da baixa eficiência em massa dos processos de carbonização e termo redução. Na ACV foram identificados como principais cargas ambientais da cadeia a contribuição para o efeito estufa e potencial de criação de ozônio fotoquímico. No caso do aquecimento global, em função do uso de florestas plantadas de eucalipto a sua influência é ambientalmente positiva. Ou seja, o processo baseado no uso de carvão produzido com floresta plantada contribui para a redução do impacto global. A outra carga tem efeito ambiental negativo e é gerada principalmente pela não recuperação de gases condensáveis durante o processo de carbonização e a não utilização do excesso de gases oriundos do processo de termo redução na geração de energia elétrica. Na análise das externalidades identificou-se como principal consequência das falhas de mercado existentes o uso de carvão vegetal não licenciado, que favorece a maior pressão sobre florestas nativas do próprio estado e de unidades federativas vizinhas. Com relação ao balanço de materiais concluiu-se que é uma ferramenta de grande eficiência na gestão ambiental de processos produtivos.

ABSTRACT

MATERIAL BALANCE ON THE ENVIRONMENTAL MANAGEMENT OF THE CHARCOAL USED IN THE PIG IRON PRODUCTION ON MINAS GERAIS

Author: Alexander Rudoph Marin Sablowski

Advisor: José Imanã Encinas

Co-advisor: Armando Caldeira Pires

Doctor Program in Environment Resources Management and Conservation

Brasília, February of 2008

The material balance is a methodology for environmental evaluation developed in the “Industrial Ecology -IE” science. IE looks for the concept of “industrial metabolism” on a parallel approach between industrial systems and biotic systems. And seek the improvement of the environmental performance of the production processes. For the conceptual analysis of the material balance the main target of this work was evaluated is own capacity for prognosis and diagnosis about environmental loads from the material flows inside the process. For the evaluation of the material balance were used four methodologies to evaluate the environmental performance trough the application on the pig iron chain based on charcoal. The methodologies were: evaluation of the support capacity of the forestry plantation sector using “eucalipto” to satisfy the environmental legislation looking for the “Self Support Plan”, environmental impact assessment using “Life Cycle Assessment -LCA”, externalities analysis of the production chain using the concepts of “failure market” that exist on the environmental economy and the environmental indicator Sablowski 2. The indicator Sablowski 2 was development to help the production managers on the reduction of the environmental loads of the production processes that was express trough the environmental impact categories. The pig iron chain based on charcoal use from the Minas Gerais state didn't has the capacity to satisfy the legislation looking for the “Self Support Plan” using is own charcoal production using eucalipto wood. The value of the environmental performance using Sablowski 2 as 10, 15 %. This value occurs because the process has a small efficiency to use the mass on the charcoal production process and thermal reduction process. Using the LCA it was shown like the main environmental loads the contribution for the “Global Warming Process – GWP” and the “Photochemical Ozone Creation Potential – POCP”. In the case of GWP, the use of forestry plantation has a positive influence looking for the environment. About the POCP, is influence was negative and is origin was the non recover of the gases from the charcoal production process and the non use of the gases from the thermal reduction process to generate electric energy. Trough the externalities analysis it was identify like the main consequences of the market failures of this chain the use of illegal charcoal. And this proceeds generated more loads on the native forests from Minas Gerais and another's federative units. About the material balance it was conclude that tool it is so efficient to use in the environmental management of production process.

SUMÁRIO

1 - INTRODUÇÃO.....	1
2 - ECOLOGIA INDUSTRIAL	4
2.1 - HISTÓRICO	4
2.2 - CONTEXTUALIZAÇÃO DA ECOLOGIA INDUSTRIAL	5
2.3 - CONTEXTUALIZAÇÃO BALANÇO DE MATERIAIS NA GESTÃO DE PROCESSOS	8
2.4 - DEFINIÇÕES E METODOLOGIAS DE APLICAÇÃO DOS CONCEITOS DA ECOLOGIA INDUSTRIAL NA AVALIAÇÃO DE PERFORMANCE AMBIENTAL	15
2.4.1 - Definições	15
2.4.2 - Ferramentas para inventário e avaliação do balanço de materiais	16
2.4.2.1 - Caracterização das principais ferramentas baseadas na análise de fluxo de materiais	18
2.4.2.2 - Metodologias de AFM	20
2.4.2.3 - Indicadores e a AFM	25
3 - ECONOMIA DOS RECURSOS NATURAIS	29
3.1 - CONCEITOS PRINCIPAIS.....	29
3.2 - FALHAS DE MERCADO: EXTERNALIDADES E BENS PUBLICOS.....	34
3.3 - TEORIA DE COASE	35
3.4 - A INTERVENCAO DO ESTADO: POLÍTICAS PÚBLICAS	38
3.5 - INSTRUMENTOS DE COMANDO E CONTROLE.....	41
3.5.1 - Problemas relacionados com instrumentos do tipo “Comando e Controle – CC”	42
3.6 - INSTRUMENTOS ECONOMICOS – IE’S.....	43
3.6.1 - Benefícios baseados no uso de instrumentos economicos	44
3.6.2 - Desvantagem dos IE’s	45
3.6.3 - Condições necessárias para adoção de instrumentos economicos	45
3.6.4 - Definição dos tipos de instrumentos econômicos.....	47
3.6.4.1 - Definição do tipo de incentivo	48

3.6.4.2 - Criação de Mercado (Licenças e Depósito-Reembolso)	51
3.6.4.3 - Comportamento voluntario e instrumentos de informacao (Selos Ambientais, Exigências de Divulgação ou Consciência Ambiental)	52
3.7 - LEGISLAÇÃO DE RESPONSABILIZAÇÃO.....	53
3.8 - OUTRAS QUESTOES RELACIONADAS AO USO DE “INSTRUMENTOS ECONOMICOS – IE”	54
3.8.1 - Neutralidade da receita e questoes de competitividade.....	54
3.8.2 - Destinacao	54
3.8.3 - Adequação do valor do incentivo	55
3.8.4 - Distorcoes e ou subsidios perversos	55
3.9 - CONCLUSÕES.....	57
4 - SETOR DE BASE FLORESTAL.....	61
4.1 - HISTÓRICO DO DESENVOLVIMENTO DO SETOR FLORESTAL NO BRASIL.....	63
4.2 - CARACTERIZAÇÃO DO SETOR DE BASE FLORESTAL.....	65
4.3 - BIOMASSA FLORESTAL COMO RECURSO RENOVÁVEL.....	67
4.4 - EUCALIPTO	68
4.5 - O CARVÃO VEGETAL NO BRASIL	70
4.6 - O CARVÃO VEGETAL NO ESTADO DE MINAS GERAIS	73
4.7 - ANÁLISE ECONOMICA DO MERCADO DE CARVÃO VEGETAL EM MINAS GERAIS.....	75
4.8 - PRODUCAO DE CARVÃO VEGETAL	78
4.9 - ASPECTOS TÉCNICOS DO PROCESSO DE PIRÓLISE DA MADEIRA..	79
4.9.1 - Neutralidade da receita e questoes de competitividade.....	84
4.10- ASPECTOS TÉCNICOS DA PRODUÇÃO DE CARVAO EM ESCALA ...	84
4.10.1 - Forno “meia-laranja” ou “rabo-quente”	86
4.10.2 - Processos com fonte externa de calor	86
4.11 - QUESTÕES AMBIENTAIS.....	88
5 - METODOLOGIA APLICADA NA AVALIAÇÃO DE DESEMPENHO AMBIENTAL USANDO ANÁLISE DE FLUXO DE MASSA	90

5.1 - ANÁLISE DO FLUXO DE MASSA – AFM NA UTILIZAÇÃO DE CARVÃO VEGETAL PARA PRODUÇÃO DE FERRO GUSA EM MINAS GERAIS.....	91
5.1.1 - Sistematização para montagem da matriz de balanço de materiais da cadeia produtiva.....	92
5.1.2 - Fluxo de massa do processo de produção.....	93
5.1.3 - Exposição dos resultados da “Análise do Fluxo de Massa – AFM”	94
5.2 - COLETA DE DADOS.....	95
5.2.1 - Caracterização dos órgãos públicos e privados que colaboraram com o fornecimento de dados e caracterização das informações fornecidas.....	96
5.2.2.1 - Variáveis analisadas	98
5.3 - ANÁLISE ESTATÍSTICA	99
6 - ANÁLISE DE FLUXO DE MASSA DO CARVÃO VEGETAL DE EUCALIPTO NA PRODUÇÃO DE FERRO GUSA NO ESTADO DE MINAS GERAIS	101
6.1 - INTRODUÇÃO	101
6.2 - ANÁLISE ESTATÍSTICA	101
6.2.1 - Análise da representatividade do conjunto de amostras em relação a cada setor	101
6.2.2 - Análise da média dos valores das variáveis obtidas pelo questionário nas empresas que compõe o conjunto de amostras como representativas do padrão de tecnologia usado na produção de ferro gusa a base de carvão vegetal de madeira de eucalipto no Estado de Minas Gerais.....	102
6.2.2.1 - Análise da média dos valores referentes à massa específica da madeira	103
6.3- DADOS ESTIMADOS	109
6.3.1 Dados estimados para o setor de produção de madeira de eucalipto para produção de carvão vegetal no Estado de Minas Gerais.....	109
6.3.1.1 - Área média em hectare para produção de uma tonelada de madeira de eucalipto para produção de carvão vegetal no estado de Minas Gerais	109
6.3.1.2 - Consumo de combustível para o transporte de uma tonelada de madeira por quilômetro rodado	109

6.3.1.3 - Consumo de combustível em massa para a colheita mecanizada em sistema de toras curtas de uma tonelada de madeira	110
6.3.1.4 - <i>Massa em tonelada dos poluentes MP, NOx, HC, e CO emitidos na colheita e transporte florestal de uma tonelada de madeira da área de plantio para o pátio de carvoejamento no estado de Minas Gerais</i>	110
6.3.1.5 - Estimativa da massa de resíduos de biomassa gerados durante o processo de colheita florestal para uma tonelada de madeira de eucalipto	112
6.3.2 Dados estimados para o setor de produção de madeira de eucalipto para produção de carvão vegetal no Estado de Minas Gerais.....	112
6.3.2.1 - Estimativa da massa de madeira de eucalipto necessária para produção de uma tonelada de carvão vegetal no estado de Minas Gerais	113
6.3.2.2 - Massa de subprodutos gerados durante o processo de produção de uma tonelada de carvão (resíduos e emissões) com madeira de eucalipto no estado de Minas Gerais	113
6.3.2.3 - Área em hectare necessária para produção uma tonelada de carvão vegetal utilizando madeira de eucalipto no estado de Minas Gerais.....	114
6.3.2.4 - Consumo de diesel em massa (tonelada) para transporte de uma tonelada de carvão vegetal da área de carvoejamento para a área de produção de ferro gusa	115
6.3.2.5 - Área média em hectare para produção de uma tonelada de madeira de eucalipto para produção de carvão vegetal no estado de Minas Gerais	115
6.3.3 Dados estimados para o setor de produção de ferro gusa.....	116
6.3.3.1 - Emissões atmosféricas oriundas do processo de termoredução de uma tonelada de ferro gusa, utilizando carvão vegetal no estado de Minas Gerais	117
6.4- BALANÇO DE MATERIAIS	117
6.4.1 Balanço de materiais no setor de produção de madeira de eucalipto para produção de carvão vegetal no estado de Minas Gerais	117
6.4.2 Balanço de materiais no setor de produção de madeira de eucalipto para produção de carvão vegetal no estado de Minas Gerais	119
6.4.3 Balanço de materiais no setor de produção de ferro gusa com o uso de carvão vegetal no estado de Minas Gerais.....	120
6.4.4 Modelo de balanço de materiais para o fluxo de carvão vegetal com madeira de eucalipto no estado de Minas Gerais para produção de ferro gusa	122

6.5- INDICADOR SABLÓWSKI 2 PARA VALORAÇÃO DE PERFORMANCE AMBIENTAL DE SISTEMAS DE PRODUÇÃO	125
6.5.1 Resultados.....	126
6.5.1 Discussão sobre a metodologia do indicador Sablowski 2	127
6.6- CONCLUSÕES.....	129
6.6.1 Indicador de performance ambiental Sablowski 2	130
7 - ANÁLISE DE CONFORMIDADE DO FLUXO DE CARVÃO VEGETAL PARA PRODUÇÃO DE FERRO GUSA NO ESTADO DE MINAS GERAIS COM O “PLANO DE AUTO-SUPRIMENTO - PAS”, LEI Nº 14.309, DE 19 DE JUNHO DE 2002.....	131
7.1 - INTRODUÇÃO	131
7.2 - METODOLOGIA DE ANÁLISE	132
7.3 - ANÁLISE DA CAPACIDADE DE SUPORTE	133
7.4 - CONCLUSÕES.....	136
8 – AVALIAÇÃO AMBIENTAL DA CADEIA DE PRODUÇÃO DE FERRO GUSA EM MINAS GERAIS ATRAVÉS DA “ANÁLISE DE CICLO DE VIDA –ACV”	138
8.1 - INTRODUÇÃO	138
8.2 - ANÁLISE DO CICLO DE VIDA - ACV	138
8.3 - METODOLOGIA DE AVALIAÇÃO	140
8.4 - AVALIAÇÃO DE IMPACTOS AMBIENTAIS.....	141
8.4.1 Análise do potencial de aquecimento global.....	144
8.4.2 Análise do potencial de aquecimento global.....	147
8.5 - CONCLUSÕES.....	149
9 – ANÁLISE DAS FALHAS DE MERCADO NA PRODUÇÃO DE FERRO GUSA A CARVÃO VEGETAL NO ESTADO DE MINAS GERAIS	151
9.1 - ANÁLISE DAS FALHAS DE MERCADO E O “PLANO DE AUTO-SUPRIMENTO – PAS” EM MG	151

9.2 - ANÁLISE DAS FALHAS DE MERCADO ATRAVÉS DO BALANÇO DE MATERIAIS	155
9.3 - ANÁLISE DAS FALHAS DE MERCADO UTILIZANDO A ACV	159
9.4 - CONCLUSÕES.....	161
12 – CONCLUSÕES FINAIS.....	162

LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1 - COMPARAÇÃO ENTRE FERRAMENTAS PARA ANÁLISE DE FLUXO DE MATERIAIS	19
Tabela 2.2 - SEIS INDICADORES PARA CARACTERIZAÇÃO DE CICLOS MATERIAIS.....	28
Tabela 4.1 - CARACTERÍSTICAS DE ALGUMAS ESPÉCIES DE EUCALIPTO À IDADE DE 10,5 ANOS, PLANTADOS EM ESPAÇAMENTO DE 3,0 X 2,0 METROS.	70
Tabela 4.2 - CONSUMO DE CARVÃO VEGETAL POR ESTADO NO BRASIL NO PERÍODO DE 1999 – 2004 EM M ³ *10 ³	73
Tabela 4.3 - FASES DO FENÔMENO DE CONVERSÃO DA MADEIRA PARA CARVÃO VEGETAL ..	81
Tabela 4.4 - COMPOSIÇÃO PERCENTUAL DE CONÍFERAS E FOLHOSAS EM RELAÇÃO AO PESO SECO DA MADEIRA	82
Tabela 4.5 - VALORES MÉDIOS DOS RENDIMENTOS GRAVIMÉTRICOS EM CARVÃO (RGR), EM GASES CONDENSÁVEIS (RGC) E EM GASES NÃO-CONDENSÁVEIS (GNC), OBTIDOS DA CARBONIZAÇÃO DO LENHO DE <i>EUCALYPTUS UROPHYLLA</i> E DOS RESÍDUOS DE SERRARIA, ÀS TEMPERATURAS MÁXIMAS DE 400 °C E DE 600 °C.	84
Tabela 5.1 - CARACTERIZAÇÃO DAS QUATRO METODOLOGIAS UTILIZADAS PARA ANÁLISE DA PERFORMANCE AMBIENTAL DO SISTEMA PRODUTIVO.....	91
Tabela 5.2- ESTRUTURA DAS MATRIZES, POR SETOR DA CADEIA DE USO DE CARVÃO VEGETAL NA PRODUÇÃO DE FERRO GUSA UTILIZADAS NA COMPOSIÇÃO DA MATRIZ GERAL E DO MODELO LINEAR DE BALANÇO DE MATERIAIS	93
Tabela 5.3 - DESCRIÇÃO DO FLUXO PRINCIPAL SUBDIVIDIDO EM SEIS PONTOS AO LONGO DOS TRÊS SETORES QUE COMPÕE A CADEIA DE PRODUÇÃO DE FERRO GUSA BASEADO NO USO DE CARVÃO VEGETAL	94
Tabela 5.4 - DESCRIÇÃO DOS MODELOS DE APRESENTAÇÃO DO BALANÇO DE MATERIAIS DA CADEIA PRODUTIVA DE FERRO GUSA BASEADO NO USO DE CARVÃO VEGETAL NO ESTADO DE MINAS GERAIS	95
Tabela 5.5 - EMPRESAS QUE COMPÕE AS AMOSTRAS PARA DEFINIÇÃO DO BALANÇO DE MATÉRIAS DA CADEIA PRODUTIVA DE FERRO GUSA BASEADA NO USO DE CARVÃO VEGETAL EM MINAS GERAIS E SUA CARACTERIZAÇÃO	97
Tabela 5.6 - COMPOSIÇÃO DAS SEIS AMOSTRAS EM FUNÇÃO DAS EMPRESAS E OS SETORES REPRESENTADOS PELAS MESMAS	97

Tabela 5.7 - DISTRIBUIÇÃO DAS VARIÁVEIS ANALISADAS POR SETOR, QUE COMPÕE A CADEIA DE PRODUÇÃO DE FERRO GUSA BASEADA NO USO DE CARVÃO VEGETAL EM MINAS GERAIS	98
Tabela 6.1 - ANÁLISE DA REPRESENTATIVIDADE DO CONJUNTO DE SEIS AMOSTRAS POR SETOR DA CADEIA PRODUTIVA DE FERRO GUSA NO ESTADO DE MINAS GERAIS.....	102
Tabela 6.2 - MASSA ESPECÍFICA DA MADEIRA DE EUCALIPTO POR EMPRESA DO GRUPO DE AMOSTRA AVALIADO.	103
Tabela 6.3 - CONTROLE DA AMPLITUDE MÓVEL ENTRE AS AMOSTRAS REFERENTES A MASSA ESPECÍFICA DA MADEIRA PRODUZIDA PARA PRODUÇÃO DE CARVÃO VEGETAL NO ESTADO DE MINAS GERAIS.	104
Tabela 6.4 - ANÁLISE DA MÉDIA DOS VALORES DAS VARIÁVEIS OBTIDAS POR QUESTIONÁRIO JUNTO ÀS EMPRESAS COMPONENTES DO CONJUNTO DA AMOSTRA EM RELAÇÃO AO SETOR DE PRODUÇÃO DE MADEIRA DE EUCALIPTO PARA PRODUÇÃO DE CARVÃO VEGETAL DESTINADO A PRODUÇÃO DE FERRO GUSA NO ESTADO DE MINAS GERAIS.	107
Tabela 6.5- ANÁLISE DA MÉDIA DOS VALORES DAS VARIÁVEIS OBTIDAS POR QUESTIONÁRIO JUNTO ÀS EMPRESAS COMPONENTES DO CONJUNTO DA AMOSTRA EM RELAÇÃO AO SETOR DE PRODUÇÃO DE CARVÃO VEGETAL COM MADEIRA DE EUCALIPTO DESTINADO À PRODUÇÃO DE FERRO GUSA NO ESTADO DE MINAS GERAIS.	107
Tabela 6.6 - ANÁLISE DA MÉDIA DOS VALORES DAS VARIÁVEIS OBTIDAS POR QUESTIONÁRIO JUNTO ÀS EMPRESAS COMPONENTES DO CONJUNTO DA AMOSTRA EM RELAÇÃO AO SETOR DE PRODUÇÃO DE MADEIRA DE EUCALIPTO PARA PRODUÇÃO DE CARVÃO VEGETAL DESTINADO A PRODUÇÃO DE FERRO GUSA NO ESTADO DE MINAS GERAIS.	108
Tabela 6.7 - EMISSÕES PADRÃO DE MOTOR DIESEL PARA VEÍCULO LEVE EM 49 ESTADOS DOS ESTADOS UNIDOS DA AMÉRICA DE ACORDO COM BRAUN (2003).....	111
Tabela 6.8 - ANÁLISE DA REPRESENTATIVIDADE DO CONJUNTO DE SEIS AMOSTRAS POR SETOR DA CADEIA PRODUTIVA DE FERRO GUSA NO ESTADO DE MINAS GERAIS.....	111
Tabela 6.9 - EMISSÕES MÉDIAS DE MP, CO, HC E NOX EM TONELADA PARA COLHEITA E TRANSPORTE DE MADEIRA EM TORA DE EUCALIPTO PARA PRODUÇÃO DE CARVÃO VEGETAL NO ESTADO DE MINAS GERAIS.....	112
Tabela 6.10 - MASSA DE RESÍDUOS EM TONELADA POR TONELADA DE MADEIRA DE EUCALIPTO PRODUZIDO	112
Tabela 6.11 - MASSA DE LICOR PIROLENHOSO E GASES NÃO CONDENSÁVEIS GERADOS NA PRODUÇÃO DE UMA TONELADA DE CARVÃO VEGETAL COM MADEIRA DE EUCALIPTO NO ESTADO DE MINAS GERAIS	113

Tabela 6.12 - MASSA EM TONELADA DOS COMPONENTES DO LICOR PIROLENHOSO GERADO NA PRODUÇÃO DE UMA TONELADA DE CARVÃO VEGETAL NO ESTADO DE MINAS GERAIS. .	114
Tabela 6.13 - MASSA EM TONELADA DOS COMPONENTES DOS GASES NÃO CONDENSÁVEIS GERADOS NA PRODUÇÃO DE UMA TONELADA DE CARVÃO VEGETAL NO ESTADO DE MINAS GERAIS	114
Tabela 6.14- DADOS ESTIMADOS PARA O SETOR DE PRODUÇÃO DE FERRO GUSA A BASE DE CARVÃO VEGETAL NO ESTADO DE MINAS GERAIS REFERENCIADOS A UMA TONELADA DE FERRO GUSA POSTO PÁTIO.....	116
Tabela 6.15 - MASSA DOS COMPONENTES DO GÁS DE ALTO FORNO APÓS QUEIMA NA CHAMINÉ PARA PRODUÇÃO DE UMA TONELADA DE FERRO GUSA	117
Tabela 7.1 - VALORES DE PRODUÇÃO DE FERRO GUSA NO ESTADO DE MINAS GERAIS NO ANO BASE DE 2004.	136
Tabela 7.2 - ANÁLISE DA CAPACIDADE DE SUPORTE DO SETOR DE BASE FLORESTAL PARA SUPRIMENTO DO SETOR DE PRODUÇÃO DE FERRO GUSA NO ESTADO DE MINAS GERAIS EM TRÊS NÍVEIS DE DEMANDA PARA O ANO BASE DE 2005.....	136
Tabela 7.3 - VALORES DE INCREMENTO DE ÁREA DE PLANTIO DE EUCALIPTO, NECESSÁRIA PARA NORMALIZAR A OFERTA DE MADEIRA DE EUCALIPTO PLANTADO NO ESTADO DE MINAS GERAIS, PARA O SETOR DE CARVÃO VEGETAL DESTINADO A TERMOREDUÇÃO DE FERRO GUSA NO ESTADO DE MINAS GERAIS POR DEMANDA ESPECÍFICA.....	137
Tabela 8.1 - RESULTADOS DA ANÁLISE DE SIGNIFICÂNCIA SOBRE OS FLUXOS MÁSSICOS DO BALANÇO DE MATERIAIS NA FORMA AGREGADA DE ACORDO COM O SOFTWARE GABI 4. ...	143
Tabela 8.2 - CATEGORIA, QUANTIDADE (KG CO ₂ – EQUIV) E PERCENTAGEM DOS MAIS RELEVANTES PROCESSOS DE ENTRADA NO BALANÇO DE MATERIAIS DA CADEIA PRODUTIVA DE FERRO GUSA DO ESTADO DE MINAS GERAIS BASEADO NO USO DE CARVÃO VEGETAL....	144
Tabela 8.3 - CATEGORIA, QUANTIDADE (Q) EM “KG CO ₂ – EQUIV” E PERCENTAGEM DOS MAIS RELEVANTES PROCESSOS DE SAÍDA NO BALANÇO DE MATERIAIS DA CADEIA PRODUTIVA DE FERRO GUSA DO ESTADO DE MINAS GERAIS BASEADO NO USO DE CARVÃO VEGETAL....	145
Tabela 8.4 - PROCESSO, CATEGORIA, QUANTIDADE (Q) EM “KG ETHANE – EQUIV” E SIGNIFICÂNCIA NAS ENTRADAS DO BALANÇO DE MATERIAIS DA CADEIA PRODUTIVA DE FERRO GUSA DO ESTADO DE MINAS GERAIS BASEADO NO USO DE CARVÃO VEGETAL	148
Tabela 8.5 - CATEGORIA, “KG ETILENO-EQUIV.” E PERCENTAGEM DAS SAÍDAS RELEVANTES NO BALANÇO DE MASSA DA CADEIA PRODUTIVA DE FERRO GUSA DO ESTADO DE MINAS GERAIS A BASE CARVÃO VEGETAL.....	148

Tabela 9.1 - ANÁLISE DA CAPACIDADE DE SUPORTE DO SETOR DE BASE FLORESTAL COM MADEIRA DE EUCALIPTO PARA PRODUÇÃO DE CARVÃO VEGETAL DESTINADO AO SETOR DE PRODUÇÃO DE FERRO GUSA NO ESTADO DE MINAS GERAIS EM TRÊS NÍVEIS DE DEMANDA PARA O ANO BASE DE 2005.	152
--	-----

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1 - PRINCIPAIS RELAÇÕES NA ANÁLISE DE FLUXOS MÁSSICOS.....	11
Figura 3.1 - CURVA DO TEOREMA DE COASE'S.....	35
Figura 3.2- QUAL O MELHOR TIPO DE INSTRUMENTO PARA CADA CONJUNTO DE SITUAÇÕES.	50
Figura 4.1 - FASES DO FENÔMENO DE CONVERSÃO DA MADEIRA PARA CARVÃO VEGETAL...	81
Figura 4.2 - FORNO MEIA LARANJA OU RABO QUENTE.....	86
Figura 4.3 - FORNO TIPO COLMÉIA VISÃO (A).....	87
Figura 4.4 - FORNO TIPO COLMÉIA VISÃO (B).	87
Figura 6.1 - GRÁFICO DE CONTROLE DA MÉDIA DOS VALORES DE MASSA ESPECÍFICA DA MADEIRA DE EUCALIPTO PRODUZIDO POR EMPRESA.....	104
Figura 6.2 - GRÁFICO “X” DE CONTROLE DA MEDIDA INDIVIDUAL DOS VALORES DE MASSA ESPECÍFICA DA MADEIRA DE EUCALIPTO PRODUZIDO POR EMPRESA.....	105
Figura 6.3 - MATRIZ DE ENTRADA E SAÍDA DE MATERIAL DO SETOR DE PRODUÇÃO DE MADEIRA DE EUCALIPTO PARA PRODUÇÃO DE CARVÃO VEGETAL NO ESTADO DE MINAS GERAIS.	118
Figura 6.4 - MATRIZ DE ENTRADA E SAÍDA DE MATERIAL DO SETOR DE PRODUÇÃO DE CARVÃO VEGETAL DE MADEIRA DE EUCALIPTO PARA PRODUÇÃO DE FERRO GUSA NO ESTADO DE MINAS GERAIS.	119
Figura 6.5 - MATRIZ DE ENTRADA E SAÍDA DE MATERIAL DO SETOR DE PRODUÇÃO DE FERRO GUSA BASEADO NO USO DE CARVÃO VEGETAL COMO TERMO REDUTOR NO ESTADO DE MINAS GERAIS.	121
Figura 6.6 - BALANÇO DE MATERIAIS DA CADEIA DE PRODUÇÃO DE FERRO GUSA BASEADO NO USO DE CARVÃO VEGETAL DE MADEIRA DE EUCALIPTO NO ESTADO DE MINAS GERAIS EM REFERÊNCIA A UMA TONELADA DE FERRO GUSA POSTO PÁTIO.....	123
Figura 6.7 - GRÁFICO DO BALANÇO DE MATERIAIS DE PARA PRODUÇÃO DE UMA TONELADA DE FERRO GUSA UTILIZANDO CARVÃO VEGETAL DE MADEIRA DE EUCALIPTO NO ESTADO DE MINAS GERAIS.	124
Figura 6.8 - GRÁFICO DE ANÁLISE PONTUAL DA PERFORMANCE AMBIENTAL DA TECNOLOGIA DE PRODUÇÃO DE FERRO GUSA UTILIZANDO CARVÃO VEGETAL NO ESTADO DE MINAS GERAIS.	126

Figura 8.1 - FLUXOGRAMA DO FLUXO DE MASSA DA CADEIA DE PRODUÇÃO DE FERRO GUSA BASEADO NO USO DE CARVÃO VEGETAL NO ESTADO DE MINAS GERAIS UTILIZANDO UMA TONELADA DE FERRO GUSA COMO UNIDADE FUNCIONAL E O CARVÃO VEGETAL COMO PRINCIPAL MATÉRIA.....	142
Figura 8.2 - INFLUÊNCIA DOS PROCESSOS DE PRODUÇÃO DE FERRO GUSA BASEADO NO USO DE CARVÃO VEGETAL OBSERVANDO A CATEGORIA DE IMPACTO RELACIONADA AO AQUECIMENTO GLOBAL (KG CO ₂ EQUIV.)	147
Figura 8.3 - BALANÇO ENTRE CRÉDITOS E DÉBITOS DOS PROCESSOS QUE POSSUEM INFLUÊNCIA SOBRE O “POTENCIAL DE CRIAÇÃO DE OZÔNIO FOTOQUÍMICO”	149
Figura 9.1 - INFLUÊNCIA DOS PROCESSOS DE PRODUÇÃO DE FERRO GUSA BASEADO NO USO DE CARVÃO VEGETAL OBSERVANDO A CATEGORIA DE IMPACTO RELACIONADA AO AQUECIMENTO GLOBAL GWP EM KG CO ₂ EQUIV.....	160

LISTA DE SÍMBOLOS, NOMENCLATURA E ABREVIACÕES

<i>ACV</i>	- Análise de Ciclo de Vida
<i>m³</i>	- metro cúbico
<i>ha</i>	-hectare
<i>mst</i>	-metro estéreo
<i>mdc</i>	- metro de carvão
<i>EI</i>	- Ecologia Industrial
<i>ICV</i>	- Inventário de Ciclo de Vida
<i>AFMa</i>	- Análise de Fluxo de Materiais
<i>AFM</i>	- Análise de Fluxo de Massa
<i>AFE</i>	- Análise de Fluxo de Energia
<i>AFS</i>	- Análise de Fluxo de Substância
<i>AFP</i>	- Análise de Fluxo de Produto
<i>IEs</i>	- Instrumentos Econômicos
<i>C & C</i>	- Comando e Controle
<i>PCS</i>	- Poder Calorífico Superior
<i>CVP</i>	- Carvão Vegetal Plantado
<i>CVN</i>	- Carvão Vegetal Nativo
<i>ABRAF</i>	- Associação Brasileira de Produtores de Florestas Plantadas
<i>AMS</i>	- Associação Mineira de Silvicultura
<i>Sindifer</i>	- Sindicato das Indústrias de Ferro Gusa
<i>IEF</i>	- Instituto Estadual de Florestas

1. INTRODUÇÃO

A crescente preocupação com a sustentabilidade dos sistemas de produção, em função dos impactos ambientais decorrentes do consumo de matéria prima, geração de resíduos e descarte de produtos no final de sua vida útil, tem gerado a necessidade de monitoramento, adequação e controle destes sistemas, buscando a redução desses impactos ao meio ambiente. Sendo estes objetivos comuns para toda a sociedade.

Dentro desse contexto, determinados setores de produção têm sofrido pressão, incluindo a de países importadores, para que o seu comportamento ambiental melhore através da redução da pressão sobre os recursos naturais e da redução na geração de resíduos e descarga de poluentes. Essa pressão é função da preocupação com o meio ambiente, mas também tem sido usada como barreira não tarifária. Desta forma, o comportamento ambiental adequado representa não somente um sistema com maior sustentabilidade, mas também com maior competitividade de mercado.

Na busca pela redução da carga ambiental de processos produtivos o “balanço de materiais” tem se destacado como base para diferentes ferramentas de análise. Dessa forma, o estudo da sua capacidade de aplicação nas diferentes metodologias componentes da gestão ambiental tem significativa importância.

A “Ecologia Industrial – EI” é uma ciência que tem se destacado no uso do balanço de materiais para desenvolvimento de ferramentas de análise dos fluxos mássicos em processos de produção e avaliação do ciclo de vida de produto. Sendo essas ferramentas de grande utilidade para o prognóstico e diagnóstico dos impactos ambientais de processos.

Outra ciência que tem encontrado no balanço de materiais executado pela EI, uma grande parceira é a “Economia Ambiental - EA”. Ao usar os resultados da avaliação do balanço de materiais dos fluxos mássicos componentes dos processos de produção, a economia ambiental encontra maior facilidade de identificar as falhas de mercado existentes em função das externalidades decorrentes. E assim auxiliar no processo de adequação ambiental desses processos através da proposição de ferramentas de indução a mudança de comportamento dos atores envolvidos.

Ressalta-se que certas ferramentas de indução da melhoria do comportamento ambiental do mercado, também são baseadas no balanço de materiais, pois se baseiam na negociação dos limites de uso dos recursos naturais e das cargas de impacto geradas. E a contabilização desses limites e cargas ambientais é pautada no balanço de materiais.

Dessa forma, entende-se que o estudo das diferentes aplicações do balanço de materiais em diferentes metodologias de análise de performance ambiental de sistemas industriais é de grande importância para a gestão ambiental de processos produtivos.

Neste trabalho foi avaliada a aplicação do balanço de materiais utilizando quatro metodologias de análise de performance ambiental aplicado na cadeia de produção de ferro gusa a base de carvão vegetal no Estado de Minas Gerais. Para o inventário dos fluxos mássicos foi utilizado a “Análise de Fluxo de Massa – AFM” que é uma ferramenta desenvolvida em função dos conceitos existentes na EI. As metodologias de análise de performance ambiental utilizadas foram: avaliação de conformidade com a legislação ambiental, valoração ambiental com uso do indicador “Sablowski 2”, “Avaliação do Ciclo de Vida – ACV” e análise das falhas de mercado.

Ressalta-se que o indicador “Sablowski 2” foi desenvolvido neste trabalho, e busca contribuir com o processo de gestão ambiental de processos industriais. A contribuição é através da proposta de um método que facilite a identificação das causas dos impactos ambientais internos aos processos de produção auxiliando os gestores de produção a reduzirem os níveis de impacto nas linhas de produção.

O uso da cadeia produtiva de ferro gusa a base de carvão vegetal do estado de Minas Gerais para a aplicação das diferentes metodologias se justifica pelas questões expostas a seguir. A cadeia de ferro gusa é a indústria de base para o fornecimento de matéria prima para a siderurgia, que é a responsável pela geração de grande parte de produtos de base para diversas outras cadeias produtivas que usam o aço e o ferro. No caso do Brasil, e em particular do estado de Minas Gerais que representa 70% da produção nacional de ferro gusa, utiliza-se a tecnologia baseada na substituição do carvão mineral por carvão vegetal como termo redutor no processo de obtenção do ferro gusa em aproximadamente 30% do arranjo produtivo. Sendo essa tecnologia capaz de contribuir significativamente para a

melhoria da performance ambiental da cadeia de produção através da geração de um produto com maior sustentabilidade ambiental.

A maior sustentabilidade ambiental do produto verifica-se quando se considera o uso de uma matéria prima para o processo de termo redução caracterizada como recurso renovável e portador de uma carga de impacto ambiental reconhecidamente inferior ao seu substituto direto que é o coque mineral. A carga ambiental negativa do coque é função principalmente da emissão de enxofre, sua fonte não ser renovável e dessa forma o balanço de carbono ser positivo, ou seja, gera emissões de carbono e não possibilita a retirada desse da atmosfera.

O objetivo principal deste trabalho foi contribuir para a melhoria do desempenho ambiental da cadeia de produção de ferro gusa com o uso de carvão vegetal. Como objetivos secundários foram considerados:

- Calcular o balanço de materiais ao longo do fluxo de carvão vegetal na produção de carvão vegetal utilizando a análise de fluxo de massa.
- Identificar os impactos ambientais mais significativos, suas causas e posicionamento ao longo desta cadeia;
- Identificar e propor procedimentos para redução desses impactos;

Hipótese

“O balanço de materiais é contribui para identificar impactos ambientais, seus pontos de ocorrência ao longo do sistema de produção do carvão vegetal para produção de ferro gusa dando suporte para a proposição de procedimentos para a melhoria da performance ambiental observando diferentes metodologias de aplicação.”

2. ECOLOGIA INDÚSTRIAL - EI

Ao longo das últimas décadas observa-se um crescente entendimento de que o Homem faz parte do meio ambiente e não que o meio ambiente pertence ao Homem. E quando pensamos a respeito do meio ambiente, é fácil entender que o atual modelo de desenvolvimento econômico necessita de profunda reformulação (Graedel & Allenby, 1995; Ferrão, 1998; Allenby, 1995; Nakajima, 2000; Sablowski, 2004). Esse entendimento tem sido expresso através de evoluções das ciências tradicionais como a economia e a engenharia de produção. E em função da profundidade destas mudanças, em alguns casos se fez necessário a alocação desses novos conceitos em novas ciências. Entre as novas ciências que buscam a melhoria do modelo de desenvolvimento econômico-social observando o meio ambiente como base necessária para a manutenção da vida como um todo, a Ecologia Industrial tem grande significância. O princípio básico da EI é a analogia do sistema de produção ao sistema biótico, observando o balanço de massa e energia corrente. Esse princípio foi usado primeiramente sob a ótica do conceito de “metabolismo industrial” (Erkman, 1997; Pongracz, 2005), onde se buscou nas leis da termodinâmica, o fundamento para a melhoria da eficiência no uso dos materiais e das energias empregadas no sistema de produção (Proops & Safanov, 2004).

2.1 HISTÓRICO

Segundo (Pongracz, 2005), o termo “Ecologia Industrial - EI” foi utilizado pela primeira vez em um jornal de circulação limitada e sem muita significância. Em 1972, o ministério da indústria e comércio exterior do Japão usou o termo “Ecologia Industrial” de forma metafórica para sugerir um modelo de estrutura para o sistema industrial japonês em função da crise energética mundial da década de 1970. Em 1989, Frosh & Gallapoulos reviveram este termo em um artigo onde sugerem a analogia entre o sistema industrial e o sistema biótico como forma de promover a melhoria da eficiência dos seus fluxos mássicos. E desde então esses conceitos têm sido usados por diferentes autores que expressam os mesmos através de variadas metodologias de aplicação (Frosh, 1992; Tibbs, 1992; Jelinski *et al*, 1992; Ayres & Ayres, 1996; Ferrão, 2000; Sablowski, 2004).

2.2 CONTEXTUALIZAÇÃO DA ECOLOGIA INDÚSTRIAL - EI

Erkman (1997), afirma que a Ecologia Industrial emergiu do entendimento de que os métodos tradicionais de despoluição (“end of pipe”) não eram suficientes. Algumas companhias por muitos anos testaram diferentes estratégias de prevenção de poluição e entre estes métodos observa-se a análise de ciclo de vida, gestão da qualidade e outros. A idéia central atual é integrar conceitos existentes em metodologias “end of pipe” e de prevenção à poluição sob a perspectiva da ecologia industrial e do metabolismo industrial. Atualmente a ecologia industrial entende que existem variados ecossistemas industriais com diferentes padrões de interação com a biosfera. Esses sistemas variam principalmente entre sistemas naturais como agrossistemas e sistemas extremamente artificiais como a construção de espaçonaves.

De acordo com Allembly (2000), no relatório da Comissão das Nações Unidas em Meio Ambiente e Desenvolvimento (1987) e no Plano Nacional de Políticas Ambientais desenvolvido pela Holanda (1989-1990), várias empresas no final dos anos de 1980, reconheceram que não poderiam continuar a tratar questões ambientais como um peso para as suas atividades e operações. Preferivelmente, eles tiveram que adotar um comportamento baseado na visão de desenvolvimento sustentável, integrando o meio ambiente através da pesquisa design, marketing, comércio, planejamento estratégico e outras operações. Para fazer isso eles tiveram que desenvolver os meios para dar suporte a esse novo conceito encontrado na ecologia industrial. A EI é o estudo multidisciplinar dos sistemas econômico e ambiental, promovendo uma base para a compreensão e implementação da visão de desenvolvimento sustentável em empresas. O conceito de ciclo de vida para qualquer produto ou design, é sempre requerido em qualquer avaliação de materiais. É difícil pensar em uma avaliação sistêmica de processos e produtos, ou construção civil que não inclua avaliação dos materiais primários, questione como esses materiais são processados e usados para gerar bens, e como eles são usados, reutilizados, reciclados ou descartados.

Em especial, o enfoque da acumulação de conhecimento e da atuação deverá passar do fim de linha para a entrada de materiais, tanto ao nível macroeconômico de países seja ao nível microeconômico das empresas, o que enfatiza o encarar a poluição não como um custo do

desenvolvimento, mas como um sintoma de desperdício de uma oportunidade de ganho. Esta mudança já desponta no âmbito internacional, assim como a desmaterialização das atividades humanas como uma via para se atingir o desejado desenvolvimento sustentável e o desenvolvimento de técnicas específicas de recolha de informação de que é exemplo a Contabilização do Fluxo de Materiais, (Canas *et al*, 2003).

Para Graedel *et al* (1993), a EI é um conceito completo onde seus elementos são conhecidos há anos, mas somente agora eles aparecem. Isso em função da percepção que as atividades humanas estão causando inaceitáveis mudanças na base dos sistemas de suporte ambiental. Nesse conceito, os sistemas econômicos não são vistos de forma isolada em relação aos outros sistemas, mas sim integrado a eles. O domínio central da EI é convenientemente desenhado usando quatro principais pontos: a extração de materiais, a manufatura dos produtos, o consumo destes e a sua destinação final. Ou seja, é a ciência que busca guiar fatores relacionados aos fluxos de materiais através da economia.

Complementando, de acordo com Pongracz (2005), a EI reconhece a necessidade da continua evolução tecnológica. Mas as tecnologias devem ser ambientalmente adequadas de forma a permitirem alcançarmos um sistema sustentável englobando todo o Sistema Terra. O atual sistema industrial aberto necessita ser transformado em um sistema industrial fechado. O papel da EI é aprender como reduzir o impacto ambiental das atividades humanas (econômicas), aceitando o aumento dos fluxos em função do crescimento econômico, mas minimizando a deposição de resíduos e substâncias tóxicas, distúrbios ambientais e a ineficiência no uso dos materiais. A EI avalia possibilidades de escolha entre matérias primas, diferentes intensidades de uso e a eficiência do uso de matérias e energia. Baseia-se em parâmetros técnicos de determinados aspectos da cadeia de atividades econômicas que reconhecem o valor da inclusão do bem estar social e a melhoria do ambiente humano.

A EI é uma ciência em rápido crescimento que examina os usos locais, regionais e globais de matéria e energia em produtos, processos, setores industriais e na economia. Focando no potencial papel da indústria em reduzir os impactos ambientais que ocorrem ao longo do ciclo

de vida de um produto. Desde a extração dos materiais para produção, o uso do produto e a gestão dos resíduos gerados.

Para isso são utilizadas técnicas que buscam quantificar as relações ambientais, econômicas e sociais atribuídas a existência de atividades humanas. O total de uma atividade humana é o objetivo da avaliação, incluindo atividades paralelas que dão suporte ou tem sua origem na atividade principal. A atividade pode ser definida utilizando-se diferentes escalas de tempo e espaço como: produto/ processo, uma indústria, uma economia ou o ciclo global de um determinado material. Desta forma engloba diversos tópicos, (Pongracz, 2005):

- Estudo de fluxos materiais e de energia (metabolismo industrial);
- Desmaterialização e descarbonização;
- Inovação tecnológica e meio ambiente;
- Planejamento, Design e Avaliação do ciclo de vida de um produto;
- Design ambiental;
- Responsabilidade expandida sobre o produto;
- Ecoparques industriais;
- Políticas ambientais orientadas ao produto;
- Eco eficiência;

Graedel & Allenby (1995), afirmam que para implementar a EI em uma empresa, os seguintes objetivos e princípios teóricos devem ser considerados:

- Toda a matéria que entra em um processo de produção deve sair desse processo como parte de um produto comercializável;
- Toda a energia usada no processo deve produzir a desejada transformação material;
- As indústrias devem usar o mínimo de material e energia em seus produtos, processos e serviços;
- As indústrias devem escolher materiais que sejam abundantes e não tóxicos quando desenharem seus produtos;

- As indústrias devem obter seus materiais em processo de reciclagem (seus ou de outros) preferencialmente em relação à extração de matéria prima inclusive no caso de materiais comuns;
- Todo processo ou produto deve ser desenvolvido para preservar as utilidades embutidas no material usado.
- Todo produto deve ser planejado de forma que seja possível o seu uso em outro processo após o término do seu ciclo de vida.
- Toda planta industrial deve ser desenvolvida, construída ou modificada com atenção para manter ou melhorar habitats locais e a diversidade de espécies, e minimizar os impactos sobre os recursos locais e regionais.
- Interações estreitas devem ser desenvolvidas entre fornecedores, consumidores e representantes de outras indústrias, com o objetivo de desenvolver parcerias visando minimizar o uso de embalagens e aumentar o uso de materiais reciclados e o reuso de materiais.

Finalizando, a EI explora dois conceitos opostos. O primeiro observa se é possível olharmos o sistema industrial como um tipo de ecossistema. E do outro lado, considerando o sistema industrial como um ecossistema, analisa se é correto descrevê-lo como um sistema de distribuição de matéria, energia e fluxos de informação. Adicionalmente deve-se considerar que todo sistema industrial depende de recursos e serviços fornecidos pela biosfera, os quais não podem ser dissociados, (Erkman, 1997).

2.3 CONTEXTUALIZAÇÃO DO BALANÇO DE MATÉRIAS NA GESTÃO DE PROCESSOS

Qualquer forma de desenvolvimento econômico ou social depende da biosfera, do espaço terrestre e da atmosfera na qual se desenvolvem os seres vivos. Por outro lado, a estabilidade dos seres vivos e dos ecossistemas é mantida por fluxos energéticos que em última análise são provenientes do sol, por fluxos materiais resultantes da reciclagem de nutrientes e de interações entre os seres vivos e a matéria inanimada (Ferrão, 1998).

Meadows *et al.*, (1992), concluem que na ausência de reduções significativas nos fluxos de matéria e energia, nas próximas décadas verificar-se-á um declínio acentuado no consumo “*per capita*” de alimentos, energia e produção industrial. Este declínio não é no entanto inevitável, e para evitá-lo são essenciais duas mudanças: a primeira consiste numa revisão das políticas e práticas que perpetuam o crescimento material e demográfico e a segunda consiste num aumento rápido na eficiência com que os materiais e a energia são utilizados. Uma sociedade sustentável é ainda técnica e economicamente possível, sendo preferível a uma sociedade que procura resolver os seus problemas através de uma lógica de constante expansão.

O sistema de produção econômico é um subsistema de um ecossistema finito, onde a economia vive baseada na importação de matéria de baixa entropia (recursos naturais) e a exportação de matéria com alta entropia (resíduos), (Daly, 1991).

Em função da crescente importância dos problemas ambientais nos modelos econômicos e de desenvolvimento, se torna importante o estudo do comportamento dos materiais e substâncias dentro da economia, pois existe uma relação direta de determinados problemas ambientais com estes fluxos, (Bouman *et al.*, 2000).

A busca da sustentabilidade social e ambiental é função da manutenção da qualidade de vida no planeta, e também da necessidade de se perpetuar o estoque de matéria prima para o sistema produtivo. Observando sistemas produtivos o processo de melhoria da performance ambiental deve considerar desde a adequação do sistema de exploração e uso de recursos naturais até a redução do desequilíbrio entre as emissões e a capacidade de carga do meio ambiente, (Sablowski, 2004).

A capacidade limitada de assimilação do ecossistema natural é considerada a principal razão para que o fluxo de matéria na economia mundial deva ser diminuído drasticamente, (Meadows *et al.* 1992).

Neste contexto é fácil compreender que a melhoria da eficiência no uso dos recursos naturais gera a melhoria na eficiência ambiental através da redução dos impactos gerados ao meio, e está associado à redução dos custos de produção ocasionado pelas menores perdas de energia e consumo de matéria prima. E desta forma, para a melhoria da performance social e ambiental do atual modelo de desenvolvimento devemos equalizar os fluxos de materiais (Sablowski, 2004).

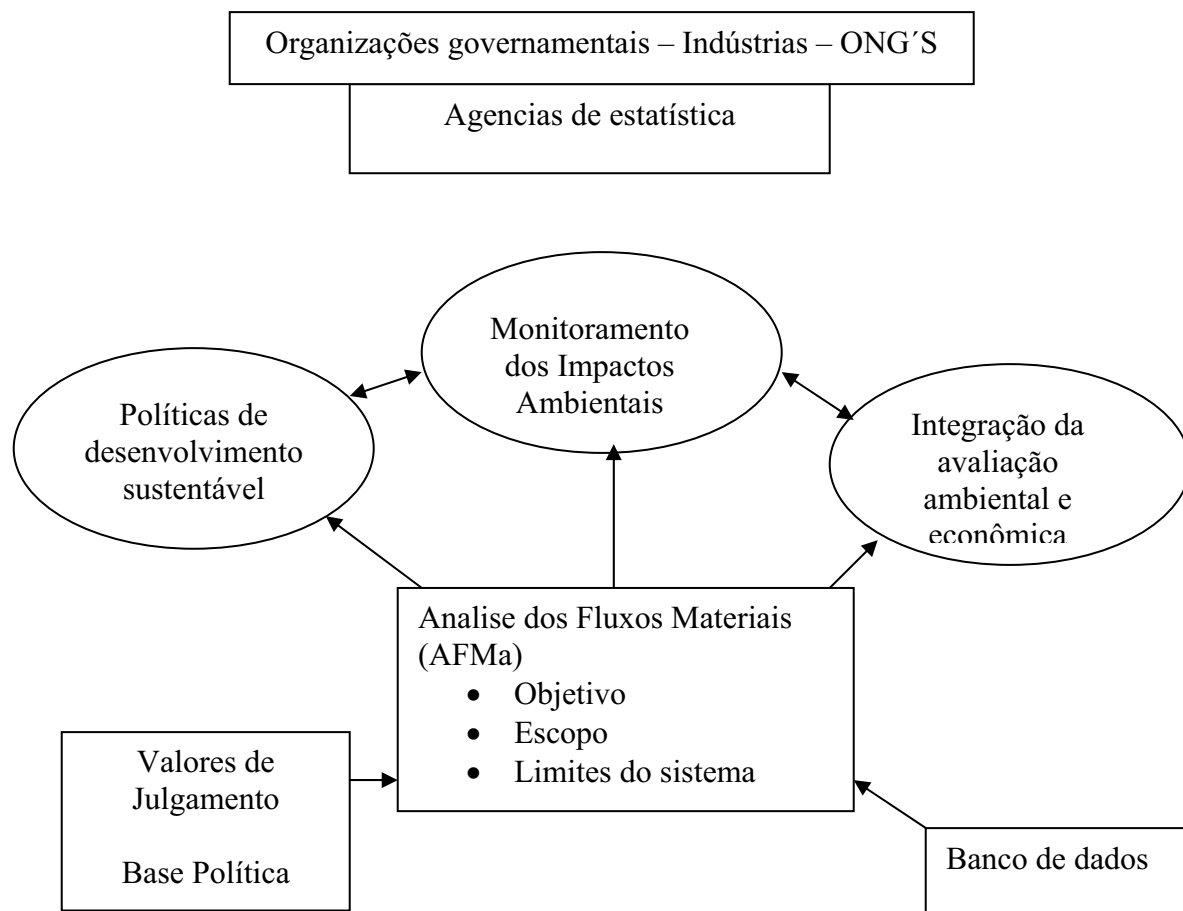
Ferrão (1988) afirma que as técnicas de análise devem apoiar a transição para uma economia guiada pela tecnologia e pela transferência de informação, na qual é notório a relação eficiência, lucro e proteção ambiental. A noção de que a poluição e os resíduos estão associados à ineficiência e de que a ineficiência se paga, começa a disseminar e a se constituir parte integrante da orientação social e política. Em uma primeira fase, a indústria procurou utilizar equipamentos para tratamento de seus efluentes e satisfazer a legislação, o que constitui uma ameaça a sua atividade por aumentar os seus custos de exploração. Em uma segunda fase, na qual se incluem as empresas de sucesso com maior visão estratégica, a indústria propiciou a investigação e o desenvolvimento de novas tecnologias de produção mais limpa com “eco-design”, criando oportunidades de negócio com importantes vantagens promovidas por um crescente “eco-marketing”.

Para associar eficiência econômica à eficiência ambiental, o ponto de referência para o sistema de gestão deve ser a manutenção da viabilidade econômica (produção) com redução da quantidade de matéria e energia empregada. O maior aproveitamento da matéria e energia e conseqüente aumento da eficiência da linha ou cadeia de produção devem possibilitar a redução da taxa de ingresso de matéria no sistema, permitindo a redução no ritmo de exploração dos recursos naturais, emissões e deposição de resíduos, (Sablowski, 2004).

Os estudos científicos têm aumentado o seu direcionamento para a análise da qualidade e da quantidade dos fluxos induzidos pelo ser humano. O metabolismo da antroposfera foi descoberto como determinante dos impactos ambientais do ser humano sobre a natureza e as chances para um futuro sustentável, (Ayres & Simonis, 1994).

A clareza dos dados sobre a passagem dos materiais através da economia nacional é a base para questões prioritárias e o desenho de políticas, técnicas e estratégias de desenvolvimento social, (Bringezu, 1994).

Na Figura 2.1 é apresentada a estrutura básica no estudo de fluxos mássicos em sistemas econômicos de acordo com Behrensmeyer *et al* (1998).



Fonte: Berehnsmeyer, R. & Bringesu, S. (1995)

Figura 2.1: Principais relações na análise de fluxos mássicos.

A metodologia de análise e os resultados obtidos são essenciais para a tomada de decisão que envolve a sustentabilidade. A quantificação é um pré-requisito necessário para qualquer monitoramento do progresso da sustentabilidade. Se a relação entre as entradas físicas e a

performance econômica for considerada, um sistema de avaliação integrada do comportamento ambiental e econômico se faz necessário, (Behrensmeyer *et al*, 1998).

Segundo Hüttler e Kowalski (1998), o sistema sócio econômico basicamente possui duas maneiras de contemplar o material antropogênico e os fluxos energéticos. O primeiro focaliza o social ou o sistema sócio econômico como uma unidade de análise, o segundo observa este de uma perspectiva ambiental que corresponde à perspectiva do ecossistema na biologia. Neste caso, se observa o sistema maior dentro do qual o sistema sócio econômico opera, e relaciona entradas e saídas de recursos aos fluxos do sistema mais abrangente. Ambos estão ligados ao sistema social humano e o seu equilíbrio é função de características similares existentes entre eles. Isto pode ser demonstrado dentro de um modelo de simulação das interações entre o sistema sócio econômico e o natural. Ou através de uma combinação de técnicas analíticas e normativas usadas freqüentemente em projeções relativas ao desenvolvimento sustentável.

Hüttler e Kowalski (1998) ressaltam que os efeitos colaterais do metabolismo de um sistema social em particular, tal como uma cidade ou um setor econômico, não é confinado a um determinado território e nem a um ecossistema específico. Ao analisar o metabolismo de um sistema em termos de energia ou matéria, ou o fluxo mássico entre este sistema e seu ambiente, pode-se fazer uma revisão geral em termos de matéria ou energia (ou ambos), ou selecionar determinados fluxos de materiais ou substancias químicas de um produto. Normalmente estas análises se fazem através da comparação entre as taxas de produção e as taxas de consumo de determinados recursos dentro do sistema de referência. Como exemplo, cita-se a análise de saída de um sistema (emissões e desperdícios) relacionada à capacidade de absorção ou armazenamento dentro do ecossistema. O cálculo do metabolismo total de um material em uma economia nacional requer uma base de dados, estatísticos e econômicos para todos os materiais, não somente em termos monetários, mas também em termos de massa e energia. Esta totalidade de fluxos de materiais de uma economia nacional é particularmente importante como um parâmetro que pode ser apresentado em um determinado período e ser relacionado ao desempenho econômico em termos financeiros. Lembrando-se que para a totalidade de fluxos de materiais de uma economia nacional, é praticamente impossível

estabelecer um ecossistema correspondente. O total de massa ou energia de uma nação está inserido na biosfera do planeta inteiro como seu ambiente natural.

Para fluxos mássicos específicos é mais fácil definir um ecossistema que seja afetado pelos respectivos processos sócio econômicos, mas continua sendo um objetivo difícil. Geralmente os sistemas atmosféricos e aquáticos não respeitam limites nacionais, e muitos fluxos de materiais não podem ser confinados aos parâmetros territoriais. A única exceção principal é a energia armazenada na biomassa da planta que pode ser estabelecida de forma confiável para um território nacional e ser relacionado ao consumo humano (Haberl, 1997).

A pesquisa regional tem a vantagem de que a região pode ser escolhida de forma que assegure que as características do sistema biofísico coincidam em sua maior parte com as definições políticas e econômicas, permitindo aproximações dentro de ambas as estruturas. Este pode ser o caso de unidades regionais relativamente pequenas (uma cidade, por exemplo). Visto que para cidades e unidades administrativas regionais, os dados estatísticos sócios econômicos estão na maior parte disponível. Outras unidades a serem consideradas são organizações individuais. Esta parece ser uma área de pesquisa promissora, desde que possa ser facilmente relacionada às políticas industriais e as previsões econômicas de um lado e aos esforços da microeconomia na redução de custos, aumentando a eficiência na utilização do material e energia do outro. (Hüttler e Kowalski, 1998; Behrensmeyer *et al*, 1998).

Aparentemente os atributos formais da física da constância da massa e da energia, assim como da análise de “input-output” (econômica), estão sendo usados geralmente como uma linha mestra, tendo por resultado a seguinte equação: a soma de entradas (material/ energia) em um sistema se iguala a soma das saídas do mesmo, mais as mudanças no estoque. Esta equação é aplicada geralmente ao sistema como um todo, mas não de uma maneira consistente a todos seus compartimentos ou subsistemas, (Brunner & Baccini, 1992).

Outra equação, fornecida por (Fischer-Kowalski, 1997) é: o metabolismo do sistema iguala a soma dos metabolismos de seus subsistemas ou compartimentos, mais transferências internas.

Esta equação utiliza a aproximação de sistemas ao olhar uma economia ou uma sociedade como um todo.

Mas esta igualdade é difícil de ser encontrada na prática, pois diversas vezes não se consideram determinados subsistemas e compartimentos, gerando um diferencial entre entrada e a saída. E também se deve lembrar da “Lei da Entropia” e do fato de que estes sistemas quase em sua totalidade são abertos, quando se refere ao balanço de energia e massa. Por isso para utilização do balanço de materiais como ferramenta de análise, devem-se definir os limites da atividade econômica. Onde é o início e o fim do sistema a ser analisado. Tornando este espacialmente e de forma temporal fechado e permitindo uma aproximação das equações citadas acima, (Brunner & Baccini, 1992).

Conclui-se então que como indicadores do desempenho ambiental da sociedade, o metabolismo sócio econômico e a análise de fluxos de materiais (incluindo energia) fornecem parâmetros importantes para integrar vários interesses. O total de material e a revisão do fluxo de energia das economias nacionais constituem os macro-parâmetros para o desempenho e a eficiência ambiental que se relacionam com os macro-parâmetros econômicos estabelecidos e macro-parâmetros gerados por clientes nacionais. Também fornece macro-indicadores para o desempenho ambiental das sociedades que podem ser comparadas internacionalmente, com respeito aos subsistemas da sociedade, e que podem ser relacionadas a muitas outras variáveis sociais e econômicas. Pode se dizer com quase absoluta certeza, que a análise de fluxo material está se transformando em uma das ferramentas mais poderosas para descrever e analisar problemas ambientais, bem como problemas do desenvolvimento sustentável em um nível-macro, (Hüttler e Kowalski, 1998).

2.4 DEFINIÇÕES E METODOLOGIAS DE APLICAÇÃO DOS CONCEITOS DA ECOLOGIA INDÚSTRIAL NA AVALIAÇÃO DE PERFORMANCE AMBIENTAL

Ao utilizar os conceitos da EI na avaliação de performance ambiental de sistemas produtivos se faz necessário o uso de ferramentas para execução do inventário dos fluxos (matéria e energia) para posterior avaliação do balanço de materiais corrente nesse sistema. Abaixo são descritas as definições referentes às principais metodologias de uso dos conceitos da EI para execução do inventário e análise do balanço de materiais. Posteriormente são apresentadas algumas metodologias de análise de performance ambiental que utilizam os resultados obtidos com o inventário e a análise do balanço de materiais.

2.4.1 Definições

Para melhor entendimento das ferramentas e suas metodologias deve-se primeiro apresentar algumas definições utilizadas na conceitualização das mesmas.

Segundo Behrensmeyer *et al.* (1998), o termo inglês "material" pode ser diferenciado pelos termos "substância" e "produto". Sendo que o produto se refere ao resultado de um processo de produção que seja usado comercialmente. Por isso tem-se usado a diferenciação entre os métodos de análise que focalizam os fluxos de uma substância dos fluxos de produto, buscando aumentar o valor da informação e minimizar o risco do engano. A substância por definição é um elemento químico específico (carbono (C) ou dióxido de carbono (CO₂)).

A análise é o cálculo e a apresentação sistemática dos resultados referentes a um determinado objeto ou processo. Neste caso nos referimos ao fluxo de materiais que é o movimento da matéria ou da energia de um processo ou posição a um outro processo ou posição durante um determinado período de tempo.

Se os fluxos de diferentes materiais estão interligados, de forma que um não existe sem o outro com a atual tecnologia, estes são então determinados como “fluxos interligados”.

Portanto, a “Análise de Fluxo de Materiais – AFMa” é o termo geral para o cálculo e apresentação dos resultados referentes aos fluxos de materiais encontrados em um determinado sistema espacial e temporal.

A “Entrada de Material” é a passagem do material natural (ambiente, ecosfera) para o sistema econômico (tecnosfera, antroposfera), como por exemplo, a extração de madeira, mineral e outros.

A “Saída de Material” é a matéria natural transformada que é usada comercialmente ou não. Por exemplo: as substâncias, materiais crus, produtos manufaturados, desperdícios, emissões de gases ou efluentes.

O “Fluxo total de material” é o conjunto de todos os fluxos relevantes para um determinado objetivo, baseado no sistema “do berço ao túmulo”, que é o ciclo de vida total.

Os “Limites do sistema” são as fronteiras de início e fim, ao qual o fluxo a ser estudado está confinado. Estes limites são funções do objetivo do estudo.

2.4.2 Ferramentas para inventário e avaliação do balanço de materiais

De acordo com Stempf *et al* (1986), não existe um único método de inventário aplicável a todos os tipos de indústria. Cada grupo de empresas e indústrias possui seus problemas singulares, o que é perceptível quando pensamos no refinamento e complexidade dos métodos e processos industriais. E dessa forma se faz necessário, métodos de inventário flexíveis para cada situação em particular. O inventário possui significativa importância em função de permitir diferentes análises de uma única substância ou um conjunto de substâncias (matéria) que representem uma parte substancial dos custos de um produto.

Para análise do fluxo de materiais dentro do metabolismo industrial existem dois modelos principais de execução do inventário. Estes modelos utilizam os mesmos conceitos mas se diferenciam na abrangência do sistema avaliado. O “Inventário de Ciclo de Vida - ICV” busca

observar todo o ciclo de vida do produto, considerando como início do sistema todos os processos de extração de material primário envolvido na produção de um determinado produto e considera como final do sistema o destino final do produto após o término do seu uso.

A “Análise de Fluxo de Massa – AFM” e ou “Análise do Fluxo de Energia – AFE” se diferencia do ICV pela flexibilidade de escolha da abrangência do sistema a ser analisado. Desta forma podem-se analisar partes do ciclo de vida do produto isoladamente. Desta forma todo ICV é uma análise de fluxos de massa e ou energia, mas não é toda análise de fluxo de massa e energia que é um ICV, (Sablowski, 2004).

Em geral, a “Análise de Fluxo de Materiais – AFMa” é definida como a contabilização em unidade física (usualmente tonelada) dos fluxos relacionados à extração, produção, transformação, consumo, reciclagem, e descarte de materiais ou substâncias. Os materiais podem ser a matéria-prima, elementos químicos e produtos. O objeto da análise pode ser uma substância, um produto, ou composto. Os objetivos da “Análise de Fluxo de Substância – AFS”, “Análise de Fluxo de Produto – AFP” e outras análises de fluxo de material devem ser explicitados ao compararmos diferentes métodos. Mas toda análise é baseada na definição de uma unidade funcional que descreva a entidade operacional a que todos os cálculos são relacionados. Assim o termo “Análise de Fluxo de Material – AFMa” pode se referir a diferentes sistemas de análise que variam de acordo com os diferentes objetivos, (Behrensmeyer *et al*, 1998).

Segundo Bouman *et al.* (2000), estes modelos devem ser completos, em termos de dados como valor de extração do material, produção, consumo, tratamento dos resíduos, disponibilidade de recursos naturais e sua poluição, macro e micro materiais poluentes, etc... Mas devem também ser operacionais buscando uma demanda baixa de dados, fáceis de obter na prática e que sejam funcionais. E estes modelos devem ser dinâmicos permitindo a estimativa do desenvolvimento das emissões e geração de resíduos no futuro.

2.4.2.1 Caracterização das principais ferramentas baseadas na análise de fluxo de materiais

A análise de fluxo de materiais é usada para fluxos totais em setores ou de sistemas funcionais maiores, mas pode ser usado em menor escala, visando a melhoria da eficiência de uma cadeia de produção industrial. Fornece suporte para a tomada de decisão, em nível global, regional ou para melhoria da eficiência da produção de forma local. Também fornece dados para o cálculo de custos de uma produção e funciona também como indicador ambiental e de produção, (Sablowski, 2004).

A AFMa é usada como ferramenta para delinear o fluxo de materiais através das atividades econômicas, e para elaborar recomendações para a gestão de materiais, sendo que diferentes políticas podem ser avaliadas através dela, (Voet *et al*, 1994a).

De acordo com Behrensmeyer et al. (1998), os sistemas e os exemplos gerais para a nomenclatura são os apresentados na Tabela 2.1.

Tabela 2.1: Comparação entre ferramentas para análise de fluxo de materiais.

Sistema de análise	Objetivo	Unidade Funcional
AFS – Analise do Fluxo de Substâncias	Determinada Substância	Análise de entrada e saída de uma substância em processos econômicos ou naturais dentro de um sistema espacial e temporal.
AFP – Analise do Fluxo de Produtos	Determinado Produto	Análise da entrada e saída de produto de um processo econômico dentro de um sistema espacial e temporal.
AFMa – Analise do Fluxo de Material	Determinado sistema econômico.	Análise de todas as entradas e saídas referentes a uma atividade econômica dentro de um sistema espacial e temporal.
AFM – Analise do Fluxo de Massa	Determinada substância	Análise do balanço das atividades econômicas referentes a uma unidade de uma substância relacionada a um processo específico ou geral de uma cadeia.
ICV- Inventário do Ciclo de Vida	Determinado processo	Análise do balanço das atividades econômicas referentes a uma unidade de um produto relacionada a um processo específico ou geral de uma cadeia.

Fonte: Material Flow Accounts Part I – General Aspects, Aluminium, National Overall Accounts (Behrensmeier *et al*, 1998).

Análise de Fluxo de Substância – AFS

O fluxo mássico é relacionado à certa quantidade de matéria que se desloca de um processo para outro em um espaço definido durante certo período de tempo. O fluxo de substância representa parte disso. A AFS foi elaborada para refletir todo o caminho de determinados elementos através da tecnosfera e descrever os processos técnicos e atividades econômicas com relevantes perdas para o meio ambiente, (Huppel *et al*. 1992).

Voet *et al* (1994a), conclui que as atuais medidas de redução devem ser determinadas por características econômicas das substâncias. Assim, toda análise de substância ou material deve ser executada observando as atividades econômicas relacionadas.

A AFS é usada para identificar as causas de problemas específicos da poluição em termos econômicos e encontrar possibilidades para sua correção ou eliminação destes problemas. Apoiando-se nas propriedades físico-químicas e ou características ambientais. AFS é uma importante ferramenta na avaliação dos impactos de várias soluções potenciais nos problemas identificados, (Behrensmeyer *et al*, 1998). Sendo que a AFS tem sido usada como instrumento para políticas ambientais (Huppés *et al*, 1992).

Avaliação do Ciclo de Vida - ACV

A ACV segundo Curran (1996) é uma ferramenta para avaliar as conseqüências ambientais de um produto do seu início ao fim. O ciclo de vida do produto compreende geralmente aspectos diversos como extração do recurso, manufatura dos materiais, energia consumida para industrialização e manutenção e tratamento dos resíduos. A ACV estuda os fluxos materiais e energéticos associados com uma unidade funcional do produto. Os fluxos calculados conseqüentemente não representam os fluxos totais do sistema econômico ambiental.

2.4.2.2 Metodologias de AFMa

O primeiro passo na análise de fluxo de material é determinar o espaço e o tempo em que será executada a análise. O espaço é usualmente definido pelas fronteiras políticas da área estudada, (Behrensmeyer *et al*, 1998).

Os limites definidos de um sistema determinam os pontos de início e fim do fluxo avaliado. Em uma empresa, quando se deseja avaliar o fluxo material uma determinada linha de produção, todos os processos dentro da linha são considerados internos ao sistema. Todas as trocas entre estes processos são consideradas trocas internas que podem ser documentadas na forma de um fluxograma de processo. As entradas e saídas que cruzam os limites do sistema não são descritas afora. Estes fluxos podem ser documentados na forma de um balanço das

entradas e saídas e representam a troca de fluxos entre a linha de produção e o meio ambiente, (Behrensmeyer *et al*, 1998).

Allenby (2000) complementa afirmando que para qualquer metodologia ser aplicável a materiais, ela deve ser genérica e desenhada para dar suporte a processos de avaliação robustos. Deve assegurar que os usuários respondam as questões certas e estas sejam guiadas a considerar impactos importantes. Um processo de solvente é vastamente diferente na função e tecnologia de um material selecionado para uso em computador. Mas a base de avaliação deve ser a mesma, e os resultados devem ser fáceis para compreensão e apresentação. Para uso em um sistema industrial, uma ferramenta de avaliação de materiais deve adicionar outras características:

1. Deve suportar comparações diretas de materiais para diferentes aplicações, Observando limitações de dados, que se iniciam como semiquantitativos e depois devem evoluir para dados quantitativos. Certas comparações são particularmente difíceis quando as opções incluem diferentes classes de materiais.
2. Deve ser capaz de racionalizar consistentemente o cruzamento entre análises de diferentes equipes.
3. Deve ser capaz de localizar todos os estágios do ciclo de vida do material, e identificar todas as considerações ambientais possíveis, e ao mesmo tempo eliminar os dados não importantes. O objetivo é gerar conhecimento e não informação.
4. Deve ser simples bastante para que os gestores possam fazer avaliações rápidas e pouco dispendiosas, mas robustas o bastante para refletir o contínuo melhoramento dos dados e técnicas analíticas.
5. Deve facilitar comparações entre conjuntos de dados de material que diferem consideravelmente em qualidade, incertezas e complementação.

Não há metodologia certa ou errada. Cada uma é apropriada em determinadas condições e em outras não. Práticos estão começando a entender quando devem usar determinadas ferramentas em detrimento de outras. É tempo de experimentação e não de doutrina. Experimentação por

entidades públicas e privadas deve ser encorajada por políticas públicas, mas é prematuro incluir qualquer metodologia específica ou resultada em regulações. A ferramenta útil no entendimento de impactos ambientais de fraldas não é útil na compreensão dos impactos de indústrias complexas como avião ou de serviço como telecomunicação. (Allenby 1997; Graedel 1997; Rejeski 1997).

De acordo com Behrensmeyer *et al* (1998), os trabalhos atuais correntes na Europa podem ser diferenciados da seguinte forma:

- “Análise de Fluxo de Substância – AFS” com abrangência nacional, (Voet *et al.*, 1994b; Kleijn *et al.*, 1994).
- “Análise de Fluxo de Materiais – AFMa” com abrangência nacional (balanço total), (Behrensmeyer & Bringezu, 1995; Kuhn *et al.*, 1994; Radermacher & Stahmer 1995).
- “Análise de Fluxo de Materiais – AFMa” com abrangência nacional (determinados produtos), (Gerhold, 1994; Radermacher & Höh, 1993).
- “Análise de Fluxo de Materiais – AFMa” com abrangência regional, (Brunner ,1992; Brunner & Baccini, 1992; Steinmüller *et al.*, 1993)
- “Análise de Metabolismo Urbano”, (Brunner & Lahner 1993).
- “Análise de metabolismo doméstico”, (Stahmer, 1994).
- “Análise de Fluxo de Materiais – AFMa” em empresas, (Payer *et al.*, 1994).

De um lado, essas denominações se referem à:

- Diferentes sistemas em relação ao espaço são definidos por limitações geográficas ou políticas (regional, nacional, intranacional, global).
- Diferentes limites para o sistema. Alguns estudos são confinados a fluxos diretamente relacionados com atividades econômicas, alguns descrevem apenas setores de uma cadeia de produção enquanto outros observam todo o ciclo de vida (berço ao túmulo).
- Diferentes formas de adequação da metodologia e apresentação do relatório.
- Capacidades variadas para combinar informações econômicas e ambientais.
- Diferentes necessidades técnicas e financeiras para a execução do AFM.

- Diferentes compatibilidades entre os dados fornecidos por diferentes sistemas em relação a empresas ou conglomerados.
- Diferentes graus de implementação

De outro lado essas aproximações são caracterizadas por:

- Interesse comum em contribuir para o desenvolvimento ambiental.
- É direcionado a grupos comuns como responsáveis pela tomada de decisão no governo e na indústria.
- É direcionado a questões comuns. Muitas equipes trabalham em questões similares em diferentes países.
- A dependência de conjuntos de dados primários e secundários, originalmente provenientes da indústria e compilado pelos serviços de estatística.

Alguns projetos focam a relação dos fluxos mássicos para vários atores. O número de manuais que descrevem a metodologia de análise de fluxos de materiais é limitado. Modelos de fluxos de materiais e de avaliação destes fluxos para suporte a decisões em políticas públicas são necessárias em diversos estudos. Onde deve existir um sentido comum à comparação entre condições básicas e obstáculos similares para a AFMa, (Behrensmeyer *et al*, 1998).

Quando os dados são insuficientes, os rendimentos ou taxas de consumo em diferentes sistemas de produção são baseados em suposições. Mas quando temos dados do volume de produção e do volume de consumo da matéria prima é possível computarmos os rendimentos do processo de produção de um produto. Em muitos casos, os volumes de resíduos calculados são baseados em suposições de rendimentos e taxas de disponibilidade que não estão de acordo com as estatísticas relacionadas a resíduos. Produtos secundários e produtos usados ou reutilizados de diferentes materiais são fluxos que podem ser tratados como importação e exportação.

Em relação à reciclagem, Hashimoto & Moriguchi, (2004), define que esta é importante no desenvolvimento de uma sociedade sustentável. No Japão, A “Lei de Estabelecimento de uma

Sociedade” baseada na reciclagem foi instituída em 2000, visando à restrição do consumo de recursos naturais e a máxima redução dos impactos ao meio ambiente.

Behrensmeyer *et al* (1998), propõe duas questões a serem analisadas em relação a AFMa:

1. Se um problema específico é relacionado a um ou mais fluxos. A questão principal é se o fluxo irá fornecer informação suficiente para o monitoramento do impacto deste fluxo e para o planejamento e controle das ações de melhoria. Essa questão pode ser direcionada para substancias ou produtos utilizando AFS ou AFM.
2. A solução acima fornecerá informação suficiente sobre a situação e atual troca de fluxos mássicos e estoque que permitirá planejar e controlar medidas de melhoria e descobrir fluxos que tenham relevância específica no futuro.

A AFMa é capaz de por si mesma fornecer qualquer informação sobre o impacto ambiental destes fluxos? De fato, qualquer fluxo gerado pelo ser humano muda o meio ambiente de forma significativa ou não? Assim qualquer análise de fluxo indicará a atual situação do impacto ambiental. Independente do desconhecimento dos impactos por unidade do fluxo, toda análise de fluxo pode ser interpretada como a direção em que este impacto aumentará com o aumento do fluxo. Uma questão a parte, é a agregação de diferentes fluxos de diferentes materiais. Se o total do consumo de material de uma economia for avaliado, uma agregação análoga deverá ser feita caso seja feita à avaliação do balanço total de energia para a mesma economia. De qualquer modo, as informações agregadas deverão ser acompanhadas por uma análise diferenciada como complementação. Na prática, informações detalhadas servem como base para a agregação. Isso é desejável para a transparência da AFMa e é necessário para o planejamento de melhorias ao fluxo.

A agregação de diferentes fontes de energia como lignite e gás natural usando uma mesma unidade de consumo não é usualmente interpretado como termo de igualdade entre os diferentes materiais em relação ao seu impacto ambiental. E esse mesmo conceito deve ser aplicado em relação a massa de diferentes materiais em um mesmo fluxo, (Behrensmeyer *et al*, 1998).

Se o princípio da precaução for utilizado da melhor maneira possível, então o balanço de materiais é suficientemente compreensível como uma metodologia onde o total de materiais extraídos do meio ambiente e o total de material descartado no meio devem ser contabilizados de forma a evitar perder opções como a mudança de um material pelo outro. Em geral, essa análise total deve estar relacionada a composições de materiais preferivelmente a substâncias simples, por que a AFS exclui as outras substâncias e baseia-se em informações específicas sobre os impactos de componentes específicos. Desta forma a AFMa deve contemplar todos os fluxos materiais que passam pela economia estudada, (Behrensmeyer *et al*, 1998).

2.4.2.3 Indicadores e a AFMa

Duas questões são de interesse primário quando se busca operacionalizar a pressão ambiental de um determinado fluxo de material, (Behrensmeyer *et al*, 1998):

- Como indicar o impacto específico do fluxo avaliado como prejudicial?
- Como indicar o impacto do fluxo de um material de uma forma geral, se não existe um conhecimento específico?

Segundo Kerr (1994), indicadores ambientais são estatísticas selecionadas que representam ou resumem alguns aspectos do estado do meio ambiente, dos recursos naturais e de atividades humanas relacionadas.

Mueller (1998) complementa, afirmando que as três principais funções de um indicador são: simplificação, quantificação e comunicação. E o seu propósito não é somente propiciar um rápido entendimento, como também capacitar os tomadores de decisão a fazer mudanças e a melhorar a situação, com informação útil do estado e das tendências da biodiversidade (Baker, 1998).

De acordo com Eurostat (2001), um grande número de indicadores pode ser derivado de uma análise econômica baseada no balanço de materiais. E estes podem ser agrupados em indicadores de entrada, indicadores de saída, indicadores de consumo, indicadores de comércio e indicadores de eficiência ambiental. Os indicadores mais utilizados em estudos de AFMa na Europa são:

1. Indicadores de entrada:

- a. Entrada direta de material (DMI): compreende todo material com valor econômico e que é diretamente usado nas atividades de produção e consumo. DMI equivale à soma de extrações domésticas e importações.
- b. Total requerido de material (TMR): inclui adicionalmente ao DMI extrações domésticas não usadas e os fluxos indiretos associados com importações e economia.

2. Indicadores de saída:

- a. Saídas domésticas de processo (DPO): equaliza os fluxos de saída em direção à natureza e compreende todos os fluxos de materiais usados de origem doméstica ou externa. DPO inclui emissões para água, ar, aterros sanitários e fluxos dissipativos.

3. Indicadores de consumo:

- a. Consumo doméstico de material (DMC): estima a quantidade total de materiais usados em um sistema econômico, excluindo fluxos indiretos. O seu cálculo é feito extraindo do DMI as exportações.
- b. Consumo total de material (TMC): inclui adicionalmente ao DMC, os fluxos indiretos associados à importação e exportação. TMC é equivalente ao TMR menos exportações e seus fluxos indiretos.

4. Indicadores de comércio:

- a. Balanço físico de comércio (PTB): indica quando as importações de recursos excedem as exportações de um país ou uma região e mostra o quanto o consumo doméstico de material está baseado em extração de recursos domésticos ou importado. O PTB pode ser baseado em fluxos materiais diretos (importações

menos exportações) ou adicionalmente incluir fluxos indiretos associados com importações e exportações.

5. Indicadores de eficiência ambiental:

- a. A compatibilidade da análise de fluxo de materiais com dados do Sistema Nacional de Contabilidade (SNA), permite uma relação direta entre os indicadores baseados em balanço de materiais com indicadores de performance econômica como o “Produto Interno Bruto – PIB”. Esses indicadores de ligação quantificam a eficiência ambiental (ou rendimento em produção) de um sistema econômico através do cálculo das saídas geradas (estimadas em unidades monetárias) por unidade produzida (estimada em unidades físicas), como exemplo PIB / DMI. Indicadores de eficiência ambiental são ferramentas úteis para monitorar processos acoplados ao uso de recursos em uma economia crescente. E servem como ferramentas estratégicas na busca de uma maior sustentabilidade no uso de recursos naturais. Esses indicadores econômicos e ambientais podem ser usados também para testar a hipótese da curva de Kuznets (EKC) em relação à entrada de materiais e para definir a melhor escolha entre diferentes possibilidades de crescimento econômico ambientalmente sustentável.

Exemplos de utilização de indicadores baseados em balanço de materiais em escala industrial podem ser encontrados no trabalho de Hashimoto & Moriguchi (2004), onde ele afirma que o primeiro passo em direção a reciclagem de material é compreender o atual estado dos ciclos de materiais na sociedade. E para isso devem-se associar indicadores a esse processo, que possam nos fornecer medidas objetivas da efetividade das políticas públicas e ações. Desta forma ele propõe seis indicadores apresentados na tabela 2.2, para caracterizar os principais pontos no ciclo de vida dos materiais. E descreve três tipos diferentes de ciclos em conformidade com os objetivos da ciclagem de materiais: reuso de produtos usados, recuperação de produtos secundários e recuperação de produtos usados.

Tabela 2.2 Seis indicadores para caracterização de ciclos materiais.

Indicador	O que o indicador estima	Formula de calculo
Entrada direta de material: DMI	A entrada de recursos naturais no sistema. Sendo o objetivo a redução desta entrada.	-
Taxa de uso de produtos usados recuperados: URRUP	A recuperação de produtos usados (Entrada)	Relação entre produtos usados recuperados e o volume total de material consumido
Eficiência no uso de materiais: MUE	Recuperação de subprodutos e prevenção à poluição	Relação entre o volume de material utilizado e o volume de material consumido
Tempo de uso do material: MUT	Reuso de materiais usados	Relação entre o volume dos estoques dos produtos e o volume de produtos usados recuperados e disponíveis
Taxa de recuperação de produtos usados: RRUP	Recuperação de produtos usados (Saída)	Relação entre o volume dos produtos usados e recuperados e o volume de produtos usados recuperados e disponíveis
Saída de procedimento doméstico	A possibilidade de redução dos impactos gerados	-

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Allenby, B.R (1995) *Industrial Ecology: policy framework and implementation*. Prentice Hall, New Jersey, USA.

Allenby, B.R. (2000) Implementing industrial ecology: The AT&T matrix system *Interfaces*; 30, 3; ABI/INFORM Global pg. 42

Ayres RU, Ayres L. (1996) *Industrial ecology: towards closing the materials cycle*. Cheltenham, UK: Edward Elgar; p. 278–280.

Ayres, R.U., U.E. Simonis (1994) *Industrial Metabolism. Restructuring for Sustainable Development*. United Nations University Press, Tokyo

Baker, D. S. (1998). Uma contribuição ao sistema de monitoramento da biodiversidade em unidades de conservação federais – SIMBIO. In: *Indicadores Socioeconômicos e indicadores de desempenho institucional*, IBAMA, Brasília, DF. 28p

Behrensmeier, R., Bringezu, S. (1995) *Zur volkswirtschaftlichen Material-Intensitäts-Analyse. Ein quantitativer Vergleich des Umweltverbrauchs der bundesdeutschen Produktionssektoren*. Wuppertal, Wuppertal Papers Nr. 34

Behrensmeyer, R.; Bringesu, S.; Schütz H., (1998). *Material Flow Accounts Part I – General aspects, Aluminium, National Overall Accounts*. Wuppertal Institute, Luxemburgo. p.94

Bringezu, S., Hinterberger, F., Schütz, H. (1994) *Integrating Sustainability into the System of National Accounts: The Case of Interregional Material Flows*. Proceedings of the international affect symposium "Models of Sustainable Development", Paris, p. 669-680

Brunner, P. H.; Baccini, P. (1992) *Regional Materials Management and Environmental Protection*. *Waste Management and Research* 10: 203-212.

Brunner P.H., T. Lahner (1993) *Buildings as Reservoirs of Materials - Their Reuse and Implications for Future Construction Design*. in: *Demolition and Reuse of Concrete and Masonry*, RILEM-Proceedings 23, E&FN SPON, London

Bouman, M.; Heijungs, R.; Huppes, G.; Van Der Bergh, J.C.J.M.; Van Der Voet, E. (2000). *Material flows and economic models: an analytical comparison of SFA, LCA and partial equilibrium models*. In: *Ecological Economics*. pg. 195-216.

Canas A, Ferrão P., Conceição P. A (2003) *New Environmental Kuznets curve? Relationship between direct material input and income per capita: evidence from industrialized countries*. *Ecological Economics* n° 46: 217-229p.

Curran, M.A., (1996) *Environmental Life-Cycle Assessment*. McGraw-Hill, New York.

Daly, Herman E. (1991), *Steady-state Economics*, 2nd ed. with *New Essays*, Washington, D.C.: Island. 19 p.

Erkman, S. (1997) *Industrial Ecology: an Historic View I*. *Cleaner Prod.* Vol. 5, No. 1-2, 1-10, pp. Elsevier Science Ltd. Great Britain 0959-6526/97

Eurostat (2001) *Economy – Wide material flow accounts and derived indicators: A methodological guide*. Luxembourg; Statistical Office of European Union. 89p.

Ferrão, P.C., (1998) *Introdução à gestão ambiental: avaliação do ciclo de vida de produtos*. IST Press, Lisboa. p.217

Ferrão, P. (2000), *O Automóvel no contexto da Ecologia Industrial in A Ecologia Industrial e o Automóvel*, Celta Editores, pp. 5-16, Oeiras, Portugal.

Fischer-Kowalski, M. (1997) *Methodische Grundsatzfragen*. [Basic methodological questions] In: *Gesellschaftlicher Stoffwechsel und Kolonisierung von Natur* edited by M. Fischer-Kowalski et al. Amsterdam: Gordon and Breach Fakultas. 57-66.

Frosh, R.A.(1992) *Industrial ecology: a philosophical introduction*. National Academy of Science, Washington DC, USA. Vol. 89, 89, pp. 800-803

Gerhold, S. (1994) *Stoffstromrechnung - Holzbilanz 1991 bis 1993*. in: *Statistische Nachrichten*, .sterreichische Zentralamt, 12/94

Graedel, T.E.; Allenby, B.R.; Linhart, P.B. (1993) *Implementing Industrial Ecology*. IEEE Technology and Society Magazine. 18-26 p.

Graedel, T.E.; Allenby, B.R (1995) *Industrial Ecology*. Prentice Hall, New Jersey, USA.

Graedel, T.E. (1997) *Life cycle assessment in the service industries*. *Journal of Industrial Ecology*, Vol. 1, N° 4, pp. 57-70

Hashimoto, S.; Moriguchi, Y. (2004) *Data Book: Material and Carbon Flow of Harvested Wood in Japan*. Report D034-2004, Center for Environment Research, National Institute for Environment Studies, Japan. 42p.

Haberl, H. 1997. *Human Appropriation of Net Primary Production as An Environmental Indicator: Implications for Sustainable Development*. *Ambio* 26(3): 143-146.

Huppel, G., E. Van Der Voet, W.G.H. Van Der Naald, G. Vonkemann, P. Maxson (1992) *New market-oriented instruments for environmental policies*. European Communities Environmental Policy Series. London: Graham and Trotman.

Hüttler, W.; Kowalski, M.F. (1998) Society's Metabolism – The State of the Art. The Intellectual History of Material Flow Analysis, Part II 1970-1998. University of Vienna, Vienna. 31 p.

Jelinski L.W., Graedel T.E., Laudise R.A., McCall D.W., Patel C.K.N. (1992) Industrial ecology: concepts and approaches. Proceedings of the National Academy of Sciences; 793-797 p.

Kerr, A. (1994). Canada's National Environmental Indicators Project. Trabalho apresentado no Global Environmental Indicators Workshop.

Kuhn, M., W. Radermacher, C. Stahmer (1994) Umwelt.konomische Trends 1960 bis 1990. in: Wirtschaft und Statistik, Nr. 8, 658-677 p.

Meadows, D. H.; Meadows, D.L.; Randers, J., (1992) Beyond the Limits: Confronting global collapse, envisioning a sustainable future. Toronto, McClelland & Stewart.

Mueller, C.C. (1998) Elementos para a construção de um sistema de indicadores ambientais para o Brasil. Brasília, DF.

Nakagima, N. (2000) *A Vision of Industrial Ecology: State-of-the-Art Practices for a Circular and Service-Based Economy* Bulletin of Science, Technology & Society, Vol. 20, No. 1, 54-69 p.

Payer, H., W. H.Ttler, H. Schandl (1994) Stofffluss sterreichs. Beitrag f.r den AK VI "Ressourcenmanagement" des Nationalen Umweltplanes und Erster Zwischenbericht zum Forschungsprojekt "Wirtschaftswachstum und Stoffwechsel - Vorstudie f.r den Aufbau einer Stoffbilanz .sterreich". Wien

Pongracz, E. (2005) Basics of Industrial Ecology, material flows, tools of IE, IE vs. waste management 480370S Industrial Ecology and Recycling course Lecture on October 12th 2005, Department Of Process And Environmental Engineering. 36p

Proops, J; Safonov, P. (2004), Modelling in Ecological Economics, Chel-tenham, UK, and Northampton, MA, USA: Edward Elgar, pp. 102-129.

Radermacher, W., Höh H. (1993) Verbrauch von Rohstoffen. Wirtschaft und Statistik 8/1993: 585-596

Radermacher, W., Stahmer, C. (1995) Umweltbezogene Gesamtrechnungen des Statistischen Bundesamtes. In: S. Bringezu (Hrsg.) pp. 55-73

Rejeski, D. (1997) An incomplete picture. Environmental Forum, Vol.14,No 5, pp. 26-34

Sablowski, A. R. M. (2004) Análise de fluxo de massa e de energia como ferramenta na gestão ambiental e de produção de industria de madeira. EFL/ FT/ UnB, Dissertação de Mestrado em

Ciências Florestais – Universidade de Brasília. Faculdade de Tecnologia. Ciências Florestais. Departamento de Engenharia Florestal. 78p.

Stahmer, C. 1994: Satellitensystem für Aktivitäten der privaten Haushalte und Umwelt. In: Seel, B., C. Stahmer (Hrsg.): Haushaltsproduktion und Umweltbelastung - Ansatz einer Bilanzierung für den privaten Haushalt. Stuttgart.

Steinmüller, H. *et al* (1993) Kreislauforientierte Bedarfsdeckung für die Region Güssing. Amt der Burgenländischen Landesregierung Landesamtsdirektion-Raumordnung, Umwelt und Energie, Reihe Umwelt Burgenland Nr. 24, Eisenstadt

Stempf, V. H.; Clark, W. L.; Councilor, J. A.; Turner, C. L. (1986) The last-in, first-out inventory method et al *Journal of Accountancy* ; ABI/INFORM Global pg. 310

Tibbs H.B.C. (1992) Industrial ecology: an environmental agenda for industry. *Whole Earth Review* 4–19 p.

Voet, E. Van Der, L. Van Egmond, R. Kleijn, G. Huppes (1994a) Cadmium in the European Community: A Policy-oriented Analysis. *Waste Management & Research* 12: 507-526

Voet, E. Van der, Kleijn R., Udo de Haes, H.U. (1994b) Nitrogen Pollution in the European Community - Origins, Impacts, Expectations and Indications for possible Solutions. Paper presented at the MM-ARS workshop, TU Vienna, April 24-28.

3. ECONOMIA DOS RECURSOS NATURAIS

O conceito de economia ambiental tem como pontos norteadores os fundamentos da economia neoclássica nas versões de Pigou e de seu principal discípulo, Keynes (CHANG, 2001).

Canas (2003) define que uma primeira abordagem do problema da poluição, baseada no controle sobre o fim da linha de produção e numa política ambiental de comando e controle, não tem produzido as melhorias necessárias ao meio ambiente. Quando considerados os impactos das atividades humanas em longo prazo, surge a preocupação com a sustentabilidade do modelo de desenvolvimento, no sentido em que ocorrem práticas que irão acarretar danos irreversíveis ao meio ambiente e estas irão restringir a liberdade e a capacidade de sobrevivência das gerações futuras.

A relação da economia ambiental com os recursos naturais está apoiada no princípio da escassez, que classifica como “bem econômico” o recurso que estiver em situação de escassez, desconsiderando o que for abundante. Além dos princípios expostos, a noção de “internalização das externalidades” é outro pilar fundamental da economia ambiental. A “internalização das externalidades” impõe a todo indivíduo ou grupo a percepção de que não pode fazer o que bem entender por uma única e simples razão: tudo que está em volta tem dono e preço. A transformação dos recursos naturais em “bens econômicos” apaga a imagem de que os mesmos são abundantes, e que em função disso podem ser desperdiçados. Da mesma forma, recursos naturais contaminados ou gerenciados de maneiras inadequadas, além de não proporcionar vantagens imediatas, no longo prazo, poderão comprometer o sistema econômico. Uma população contaminada tende a comprometer a produtividade do sistema econômico. Por conta disso, os recursos naturais não podem continuar sendo uma externalidade, de outra forma uma ameaça à reprodução do sistema econômico de capital, (Souza-Lima, 2004; Weydmann, 2005).

3.1 CONCEITOS PRINCIPAIS

De acordo com Seroa da Motta et al (1999), primeiro se faz necessário denominar bens e serviços privados como bens que os direitos de propriedade são completamente definidos e assim permitem que as suas trocas com outros bens se realizem livremente no mercado.

Corrigindo as imperfeições de mercado como a ausência de concorrência perfeita na sua produção e na sua comercialização, seria possível aumentar o nível de eficiência do seu uso.

O direito de propriedade abrange o direito de uso, de contratar e obter renda de um recurso e de transferir para terceiros os direitos sobre um recurso, (Egerston, 1997).

Bens públicos são aqueles bens cujos direitos de propriedade não estão completamente definidos e, portanto, suas trocas com outros bens acabam não se realizando eficientemente no mercado. Dessa forma, o sistema de preços é incapaz de valorá-los adequadamente. A indefinição de direitos de propriedade dos bens públicos pode até ser cultural ou política, mas, existem duas características de certos bens que atenuam os seus direitos de propriedade e os tornam em bens públicos. Uma é a não exclusividade de direitos de uso ou de propriedade. Sem exclusão é difícil coletar um preço pelo uso do recurso. Assim, preços não servem para racionar o uso e gerar receitas para sua conservação resultando em exaustão ou degradação, (Seroa da Motta et al, 1999). De acordo com Romero (1997), “bens públicos” tratam dos serviços ambientais não transacionados como ar, água, capacidade de assimilação de rejeitos, paisagem, etc...

A princípio, o uso eficiente dos recursos naturais não deveria ser problemático se as condições de eficiência do mercado fossem obedecidas. Assim, como ocorre a qualquer bem de consumo, a alocação ótima dos recursos naturais poderia ser resolvida via mercado sem qualquer intervenção governamental. Para tal, o uso destes recursos deveria ser orientado por preços que representassem suas taxas de substituição ou transformação em relação aos outros bens da economia. Ou seja, que os preços dos recursos naturais refletissem seu custo de oportunidade. Entretanto, observa-se que o uso dos recursos naturais gera custos e benefícios que não são captados no sistema de mercado.

Embora estes recursos tenham valor econômico, não lhe são atribuídos preços adequados. Assim, o custo ou benefício privado deste recurso não reflete o seu custo ou benefício econômico (ou social). A determinação de direitos bastante específicos de exclusividade de uso de recursos como, por exemplo, água, ar e espécies migratórias, são tecnicamente difíceis. Quando exclusividade não é possível, direitos comunitários de propriedade podem ser desenvolvidos através de critérios de uso como, por exemplo, quotas, licenças ou outras

regras de uso ou acesso. Apesar da difícil aplicação, se estas regras permitem que se comercializem estes direitos, então, seria possível gerar níveis de preços mais adequados.

A segunda característica é a não-rivalidade de uso. Sem rivalidade um bem pode ser usado por um indivíduo sem que haja necessidade de reduzir a quantidade consumida de outro indivíduo. Por exemplo, o prazer de uma pessoa ao apreciar uma riqueza natural, seja uma catarata, um animal ou mesmo visitar uma floresta não diminui se outra pessoa está também admirando esta cena. Assim, o preço do bem não-rival será determinado somente pela valoração de cada indivíduo e não pela troca no mercado. O custo marginal de incluir um outro consumidor é zero, mas, o custo médio por consumidor não. Isto porque a provisão do bem (sua conservação ou manutenção) quase sempre encerra custos elevados. Nesses casos há que se recorrer a critérios discriminatórios de preços, isto é, que não se baseiam na relação de trocas com outros bens. Provê-los de graça com custo financiado pelo contribuinte ou, menos ineficientemente, exigir pagamentos, mesmo que uniformes, aos verdadeiros usuários.

Os bens não-rivais, entretanto, podem se tornar rivais a um determinado nível de uso quando ocorre congestionamento. Estes seriam os casos, por exemplo, do serviço de telefonia, tráfego em ruas e estradas e mesmo visitação a sítios naturais. Nesses casos também há que se recorrer à discriminação de preços, embora o custo marginal de uso possa ser estimado em termos intertemporais considerando os custos marginais de longo prazo quando do congestionamento. O uso dos recursos naturais assemelha-se muito ao uso dos bens públicos. Para o aprofundamento desta discussão devem-se compreender as falhas de mercado, representadas nas questões ambientais principalmente pelas externalidades e a existência de bens públicos.

3.2 FALHAS DE MERCADO: EXTERNALIDADES E BENS PUBLICOS.

Externalidades existem quando o bem-estar de um indivíduo (U = utilidade ou satisfação do consumo) é afetado não só pelas suas atividades de consumo como também pelas atividades de outros indivíduos, (Seroa da Motta et al, 1999).

Rabl et al. (1998) define que externalidades são uma forma de falha de mercado em função de uma assimetria do mercado. Essa assimetria pode ser definida em função dos custos e benefícios externos derivados das atividades de um grupo gerar impacto em outro grupo

sendo que o primeiro grupo não internaliza o seu próprio impacto. As falhas de mercado podem ser divididas em bens públicos, externalidades, monopólios naturais e assimetrias de informação (Pereira, 2005).

Samuelson & Northaus (2005) consideram que a correção das falhas de mercado estimula a eficiência, se tornando importante fonte de ganhos para a sociedade. Mermer (2001), explica que as falhas de mercado ocorrem quando os custos sociais e privados divergem, ou seja, as decisões do setor privado afetam a sociedade como um todo. E existem diversas situações em que isso ocorre. Sendo um dos mais comuns casos, a ocorrência de “externalidades” que podem ser definidas como:

“Os custos e benefícios de uma transação incorrem ou são recebidos pelos membros da sociedade, mas não são contabilizados na transação”.

Externalidades surgem de varias atividades durante o ciclo de vida de um produto: produção, transporte, uso e disposição. Essas externalidades criam numerosos distúrbios de abrangência global, regional e local como emissões de gases estufa e poluição do ar, solo e água. E estes impactos têm efeito sobre o clima, à saúde publica e na colheita, Eshet *et al* (2006).

De acordo com Seroa da Motta et al (2000), a “Externalidade Pareto Relevante” é aquela que pode ser corrigida de tal forma que a parte afetada melhora seu nível de bem-estar sem reduzir o bem-estar da parte geradora da externalidade. As externalidades podem ser positivas, as quais deveriam ter preços positivos por representarem benefícios não apropriadamente pagos. Por exemplo, uma “Economia externa” ocorre quando uma empresa desenvolve um método de produção ou administração de baixo custo que é absorvida gratuitamente por outra empresa ou quando um fazendeiro preserva uma área florestal que favorece gratuitamente a proteção do solo de outros fazendeiros. As externalidades negativas, “deseconomias externas”, deveriam ter preços negativos por significarem perda de utilidade. Exemplos de externalidades negativas são inúmeros, principalmente aqueles de cunho ambiental. Um exemplo seria a degradação ou exaustão de recursos naturais decorrentes das atividades de produção e consumo de certos bens que prejudicam a saúde humana, a produção de outros bens que também destroem a fauna e flora.

Cowen (2000) complementa afirmando que externalidades residem em economias externas e ocorrem quando as atitudes de uma pessoa afetam o bem estar de outra e os seus custos e benefícios relevantes não se refletem nos preços de mercado. Externalidades são, assim, manifestações de preços ineficientes. E essas manifestações são geralmente decorrentes de direitos de propriedade incompletos, como no caso dos bens públicos.

Em oposição aos bens privados, os bens públicos apresentam características próprias, que faz com que o estado assuma a responsabilidade do seu fornecimento, sob pena de pelo menos uma parte da população não ter acesso a estes, mesmo estes sendo considerados essenciais à vida, (Pereira, 2005).

McConnell & Brue (2001) dividem os bens públicos em duas categorias: bens públicos puros e bens públicos impuros. Sendo que os bens impuros podem também ser considerados mistos ou quase públicos.

Os bens públicos puros são simultaneamente não rivais e não exclusivos. Os impuros são passíveis de consumo rival, (Pereira, 2005).

Cowen (2000) sintetiza as características fundamentais dos bens públicos em não exclusivos e cujo consumo ocorre sem rivalidade. Sendo que a não exclusão significa que as pessoas que não pagam não podem ser excluídas do uso do bem ou serviço. E o consumo sem rivalidade significa que as pessoas podem usufruir o bem, sem que isso aumente os custos nem diminua o prazer dos outros agentes. Esta situação contrasta com os bens privados, pois estes são capazes de excluir pessoas da sua propriedade ou de seu uso e assim evidenciam a característica da rivalidade.

Não exclusividade e não rivalidade impede que certos bens sejam transacionados em mercados específicos e, portanto, tornam impossível a transformação do seu valor em preços. Caso esses direitos completos de propriedade fossem assegurados, seria possível uma negociação entre a parte afetada e a parte geradora de externalidades. Os termos da negociação seriam com base nos custos e benefícios da externalidades percebidos pelas partes. Aqui vamos considerar também os direitos que são assegurados não por propriedade, mas, sim, pelo direito completo de compensação. Ou seja, a parte afetada por uma

externalidade negativa tem assegurado legalmente uma compensação equivalente às suas perdas devido às externalidades negativas, Seroa da Motta (2000).

Mermer (2001) cita como exemplo, o fato dos custos sociais da chuva acida geralmente não afetarem as decisões dos responsáveis pelas emissões atmosféricas. Mas o peso das conseqüências recai sobre a sociedade na forma de perda da qualidade dos recursos naturais como redução da oferta de peixes em lagos e rios que acaba prejudicando principalmente aqueles que dependem da pesca como forma de aquisição de receita. Desta forma soluções são requeridas para que este custo seja internalizado pelos emissores e então eles sejam induzidos a reduzir seus impactos sobre o meio. Neste contexto, durante o encontro da OECD em Estocolmo (1972) definiram o princípio do “poluidor pagador”. Este princípio busca dar os direitos de propriedade aos usuários do meio ambiente, a sociedade (que não é responsável pela poluição) na forma de “bens públicos”, imputando o ônus sobre os poluidores e obrigando-os a pagar pelos danos que eles causam.

3.3 TEORIA DE COASE

De acordo com Mermer (2001), qualquer discussão sobre externalidades e intervenção do estado será incompleta se não for mencionada a teoria de Ronald Coase (1960) na busca de encontrar uma solução entre ambas as partes visando alcançar um nível ótimo de poluição. O trabalho de Coase reconhece um nível ótimo de poluição que é demonstrado pela definição dos direitos de propriedade e que a alocação inicial destes direitos não terão efeito sobre a eficiência das emissões de cargas poluidoras quando for determinada apenas por um processo de negociação entre as partes afetadas (assumindo que existem instituições apropriadas para facilitar essa negociação). A conjunção de direitos de propriedade definidos e a inexistência de custos de transação fazem com que uma negociação, que envolva poucos poluidores e vítimas da poluição, alcance uma solução de eficiência paretiana, tornando-se desnecessária a regulamentação (Coase, 1960).

Assumindo que existem informações perfeitas e uma divisão adequada dos custos para um tipo de carga ambiental e ator (sociedade que sofre os custos desta carga). Pode-se considerar o gráfico da Figura 3.1, onde a sociedade está disposta a pagar pela redução das primeiras unidades de poluição, mas posteriormente essa disposição diminui em função da redução dos

benefícios alcançados por unidade de carga poluidora reduzida e os custos aumentem para que essa redução ocorra.

Da mesma forma, quanto maior a carga de poluentes existentes, maiores são os custos ambientais existentes. E para a indústria a redução das primeiras unidades possui custo inferior, pois não necessitam drásticas inovações tecnológicas em seu sistema, mas para continuar o processo de redução da carga ambiental se faz necessário maiores intervenções (troca de tecnologia, matéria prima, etc...) e então os custos de redução do impacto crescem. Desta forma, assumindo uma negociação sobre os custos e um sistema de informação perfeito, Coase acredita que a negociação entre as duas partes permite o ponto de eficiência de “Pareto” (onde um possui mais benefícios, mas ninguém é prejudicado) em relação ao nível de poluição, reconhecendo quem possui os direitos de propriedade. E a intervenção do estado não é necessária. A negociação se ajusta naturalmente entre as partes envolvidas que são a sociedade e a indústria.

No gráfico da Figura 3.1 deve-se entender que fazendo a leitura da esquerda para a direita da curva MEC, observa-se a curva de custo de redução do impacto marginal. E a leitura da esquerda para direita da curva MWP, representa a curva marginal da disposição a pagar pela redução do impacto, que pode também ser entendido como o benefício obtido com a redução por unidade de impacto, Mermer (2001).

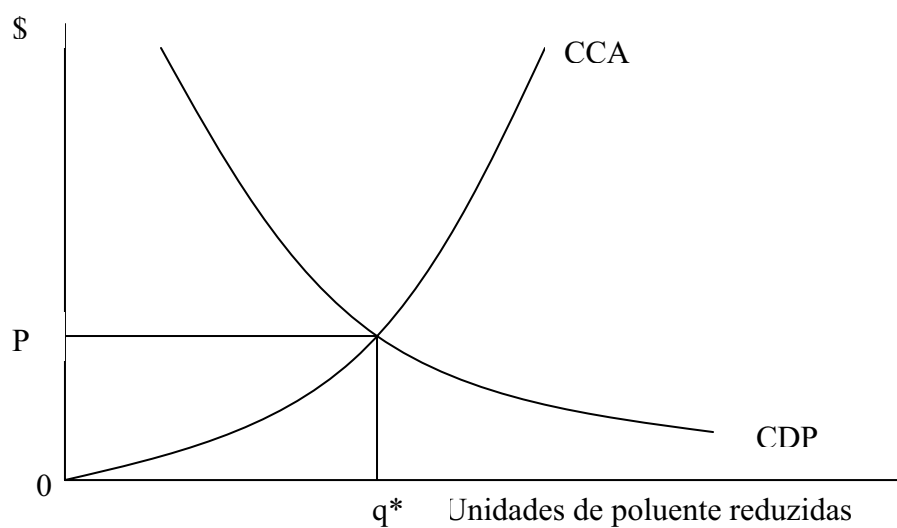


Figura 3.1: Curva do teorema de Coase's.

Fonte: Cross & Melvin (1997). Obs.: CCA: Curva marginal de custo ambiental e CDP: Curva Marginal de Disposição a Pagar.

Seroa da Motta et al (1999) cita como exemplo a poluição hídrica de uma indústria “A” que afeta a comunidade “G” e equivale a um custo de perda de produção pesqueira “DP”, como forma de discussão com relação ao teorema de Coase (1960). Neste exemplo se a comunidade G tem direitos legais de compensação, então ela estaria disposta a aceitar o montante DP dessa perda como uma forma de compensação para permitir este nível de poluição. Por outro lado, se o direito de compensação não existe ou o direito de poluir é assegurado à indústria, restaria à comunidade G pagar DP à indústria A para cessar suas externalidades.

Quando essas negociações são possíveis, os preços da externalidade emergem e norteiam uma alocação eficiente dos recursos independentemente a quem os direitos de propriedade são assegurados. Este processo é denominado solução de mercado coasiana, devido ao trabalho seminal nesta área de Robert Coase. Todavia, soluções coasianas não estão livres de problemas de eficiência. Embora o ponto de equilíbrio coasiano independa de a quem os direitos são assegurados, os efeitos distributivos (pagamento ou compensações) trocam de sinal em cada caso. Segundo, quando pagamentos ou compensações são realizados alteram-se as restrições orçamentárias e os efeitos-renda e substituição determinam pontos de equilíbrio distintos.

Por último, a magnitude dos custos de transação para impor os direitos reduz também o pagamento ou compensação líquida e, portanto, resulta em distintos pontos de equilíbrio. Esta última restrição é de importância para a questão dos recursos naturais. Devido ao caráter difuso do problema ambiental, observa-se um número elevado de partes afetadas e geradoras de externalidades. Não somente é difícil avaliar a causalidade entre cada fonte de degradação com o efeito ambiental geral, como também, o valor econômico dos recursos naturais, conforme será discutido mais adiante, não se resume a valores de uso, mas, inclui igualmente valores de não-uso que afetam a sociedade como um todo.

Assim, soluções coasianas acabam gerando altos custos de transação que podem resultar em pontos de equilíbrio muito próximos a total degradação ou exaustão. A solução do tipo coasiana é a base das compensações judiciais ou acordos entre partes em relação a danos ambientais. As dificuldades institucionais de julgar o mérito, definir o valor e impor as sanções têm encerrado custos de transação elevados que não permitiram que tal prática fosse satisfatória em termos de eficiência econômica. Dessa forma, em certos casos onde custos de

transação são elevados, a solução mais comumente utilizada na tentativa de assinalar preços negativos ao uso dos recursos naturais é via cobrança por esse uso. Uma taxa imposta aos usuários (que usam o recurso como insumo ou receptor de poluição) foi inicialmente proposta por Pigou (1879-1959) de forma que essa taxa refletisse o custo marginal ambiental gerado por este uso. Diante dessa taxa pigouviana os produtores internalizariam a externalidade e, assim, teriam restaurado as condições ótimas de alocação de recursos. Na prática, a gestão ambiental tem-se caracterizado pela restrição ao uso de recursos através de normas e padrões que procuram organizar o comando e controle desse uso restrito. Note-se que estas restrições definem um preço sombra da externalidade, pois, os poluidores e usuários agora têm de limitar o uso do recurso, seja adotando equipamentos de controle ou conservação ou mesmo reduzindo seu uso.

Adicionalmente este preço-sombra é maior com as possíveis sanções pecuniárias pelo não-cumprimento das normas ou ainda com outras como paralisação ou fechamento das atividades. No entanto, estes instrumentos orientados por controle não são suficientemente flexíveis para oferecer uma melhoria ambiental com maior eficiência econômica na medida em que restrições são impostas a todos os agentes degradadores não importando seu custo ambiental ou de controle. Além disso, sanções geralmente não variam com a intensidade da degradação e sim com a capacidade institucional do órgão ambiental.

Mermer (2001), afirma que de acordo com a literatura existem diversas condições que para que o teorema de Coase seja considerado irreal. A primeira grande crítica se refere ao fato de que um “mercado competitivo perfeito” não existe. Da mesma forma não existe apenas um tipo de carga poluidora, e também não existe apenas uma forma de deposição que permita determinar a disposição a pagar pela redução de unidades de poluição. E para muitos usuários os custos de transação excedem os benefícios da redução da poluição. Desta forma, o teorema de Coase e a idéia de não ser necessária à intervenção do estado falha em muitos pontos. E em um sentido prático, a intervenção sobre a carga poluidora gerada se faz necessária para a manutenção do meio ambiente para a sociedade.

De acordo com Seroa da Motta et al (1999), o que finalmente nos interessa apreender dessa análise é que na ausência de preços adequados para os recursos naturais a alocação eficiente desses recursos não pode ser tentada. A utilização de mecanismos de mercado é, assim, uma forma de internalizar as externalidades ambientais. E assim a meta fundamental da maioria

dos sistemas de regulamentação ambiental é reduzir as externalidades. E as externalidades existem quando o agente decisório quanto à produção ou consumo não arca com todos os custos ou benefícios de suas decisões que afetam o bem-estar de terceiros. As externalidades são comuns na questão ambiental. A poluição despejada em um curso de água pode ser, para o poluidor, uma solução de baixo custo para a deposição de resíduos. Mas as empresas e os indivíduos a jusante podem sofrer as conseqüências, através de custos mais elevados resultantes das perdas em produção de pescado, custos mais elevados de tratamento da água, valores de amenidade mais baixos (para a recreação) ou perda de suprimentos críticos de água potável. A maioria das estruturas de instrumentos econômicos tenta transferir parte de seus custos de volta ao indivíduo responsável pela decisão. Uma situação semelhante poderia existir com decisões ambientalmente benéficas: uma empresa que limpa a água poluída de que se abastece e despeja água limpa após usá-la em seu processo interno estaria, de fato, criando uma externalidade positiva e, nesses casos, poder-se-ia discutir o fato de que seria eficiente concederem-se subsídios a esta empresa em proporção direta ao valor deste benefício externo.

3.4 A INTERVENÇÃO DO ESTADO: POLÍTICAS PÚBLICAS

De acordo com Pereira (2005), a intervenção do Estado na economia assume relevante importância quer seja na correção das falhas de mercado existentes ou potenciais, ou na provisão de bens e serviços. E desta forma a intervenção do estado na economia deve orientar-se para a correção e resolução de questões que afligem a sociedade. Assim as intervenções devem ser direcionadas a promoção de eficiência e de equidade. Diz-se que uma economia é eficiente quando, através do comportamento do mercado se consegue melhorar o bem estar de um ou mais indivíduos, sem diminuir o nível de bem estar a quem quer que seja. Assim a primeira razão para a intervenção do Estado e a convicção de que a economia quando entregue aos mecanismos do funcionamento do mercado localiza-se em pontos ineficientes na verdade.

Havendo falha do mercado, o Estado deve intervir na tentativa de correção da externalidade sendo comum à incidência de imposto (taxação Pigouviana) e ou fixação de limites sobre a emissão de poluentes. Para ter um imposto eficiente, o estado precisa conhecer o nível ótimo de poluição, o que é dificilmente possível (Varian, 1994).

De acordo com Mermer (2001), ao se assumir a necessidade de intervenção do Estado, diferentes instrumentos foram desenvolvidos. Em um primeiro passo observou-se a geração dos tradicionais instrumentos de regulação direta, mais conhecidos como instrumentos de “Comando e Controle”. E mais recentemente observa-se a geração de instrumentos econômicos e de redução voluntária (programas de gestão, certificação e selos ambientais). Para cada instrumento existem aspectos negativos e positivos, mas a combinação deles podem se tornar um forte incentivo para implementar mudanças reais no setor industrial em relação a manutenção do meio ambiente.

Seroa da Motta *et al.* (1999) afirmam que há um grande número de princípios econômicos gerais que formam a filosofia básica para uma estratégia econômica e ambientalmente sustentável. O princípio do poluidor/ usuário pagador e o princípio da precaução são enunciados com maior frequência. O princípio do poluidor/usuário pagador confere direitos que permitem a internalização de custos que não seriam normalmente incorridos pelo poluidor ou usuário (“externalidades”). O princípio da precaução provê um mecanismo para lidar com a incerteza dos impactos. Muitos mecanismos já foram desenvolvidos e usados a fim de promover estes princípios. Eles geralmente formam uma série contínua que se estende desde os regulamentos estritamente “orientados para o controle”, em um extremo, até a legislação de responsabilização “orientada para o litígio”, no outro extremo. No meio desses dois extremos situa-se uma ampla gama de instrumentos “orientados para o mercado” que se apóiam em uma certa mistura de regulamentos e incentivos econômicos para alcançar a proteção ambiental.

De acordo com a Comissão das Comunidades Europeias - CCE (2007), a razão da economia em usar instrumentos baseados no mercado esta em sua habilidade de corrigir as falhas de mercado com uma relação custo - benefício adequada. A intervenção do Estado então é justificada, utilizando-se de mecanismos de regulação ou administrativos. Os instrumentos econômicos têm a vantagem de usar sinais de mercado como indicadores das falhas de mercado. Seja influenciando preços (através de taxas ou incentivos) ou definindo limites de emissões, torna-se implícito que empresas diferem entre si e assim necessitam de flexibilidade para reduzir os custos da melhoria do seu comportamento ambiental. Mas deve-se ressaltar que os instrumentos econômicos não são a solução para todos os problemas. E assim se faz necessário uma regulação clara para a sua operacionalização e permita o uso desses instrumentos de forma conjunta com outros instrumentos.

Como vantagens dos instrumentos econômicos em relação aos instrumentos de comando e controle pode se citar:

- A introdução de indicadores baseados em valor, fornecendo um valor para os custos e benefícios das atividades econômicas. E assim permite aos atores valorar as mudanças de seu comportamento ambiental e outros impactos.
- Eles permitem ao setor industrial grande flexibilidade para alcançar os objetivos com custos menores.
- Fornecem às empresas, incentivos em longo prazo para inovação tecnológica e redução dos seus impactos na fonte.
- Incentivam a geração de empregos quando utilizados na forma de subsídios.

Seroa da Motta (1991) cita que há uma vasta gama de questões cujo tratamento requereria instrumentos ou sistemas regulatórios específicos. Dentro da definição de instrumentos econômicos, há uma quantidade de abordagens diferentes que ainda poderiam ser interpretadas como sistemas de incentivos.

1. Monopólio do Setor Público: Os modelos tradicionais de monopólio do setor público argumentam que uma empresa estatal “ambientalmente amigável”, que fiscaliza todos os níveis de produção, pode ser projetada de modo a que todas as suas decisões de produção sejam ótimas, inclusive aquelas referentes aos custos e benefícios ambientais. Teoricamente, não seriam necessários instrumentos econômicos específicos para estes casos. Na prática, entretanto, os analistas geralmente observam que as empresas estatais são as menos responsabilizáveis, além de terem pouco incentivo interno, para cumprir até mesmo os seus próprios padrões e diretrizes ambientais.
2. Sanções Legais Severas: As leis ambientais na maioria dos países dispõem - teoricamente - de penas severas para os casos em que as normas definidas em lei não sejam cumpridas. Na prática, entretanto, essas penalidades muitas vezes não são aplicadas devido a uma grande variedade de obstáculos. Devem elas, também, ser implementadas em conjunto com procedimentos menos antagonísticos para que sejam eficazes. Esses problemas foram tratados através de vários mecanismos.

Seroa da Motta et al (1999) complementa a crítica ao monopólio do setor público citando quatro razões principais. Em primeiro lugar, pode ocorrer um “arrasto regulatório” quando o sistema regulatório de aprovação, estiver sobrecarregado, atrasando investimentos criticamente importantes e assim atuando como um fardo e tornando mais lentas as perspectivas do desenvolvimento econômico. Em segundo lugar, a capacidade para implementar a regulamentação é com frequência limitada, devido a recursos humanos inadequados ou a uma inadequada estrutura de apoio como informações ambientais ou redes de monitoramento. Em terceiro lugar, surgem restrições locais de financiamento porque a autoridade responsável pela regulamentação ambiental é muitas vezes delegada a níveis mais baixos de governo (local) sem fontes adequadas de financiamento para implementar e monitorar essa regulamentação.

Em quarto lugar, vigoram, muitas vezes, padrões conflitantes onde diversas agências ou órgãos são responsáveis pelo estabelecimento de regulamentações ambientais dentro do mesmo nível de governo ou em diferentes níveis. A falta de coordenação leva, com frequência, a regulamentos conflitantes ou superpostos. Isto é mais evidente no que tange às questões referentes à água por causa das numerosas partes envolvidas no seu uso. Por fim, existe conflito de interesses dentro dos programas do governo onde os órgãos governamentais são, eles próprios, a autoridade reguladora e de fomento: a auto-regulamentação torna-se problemática sob estas circunstâncias, sendo rara a existência de incentivos que assegurem o cumprimento da legislação. Isso é um problema especialmente junto às empresas de serviços de infra-estrutura (como rodovias e portos), que são tipicamente da alçada governamental.

3.5 INSTRUMENTOS DE COMANDO E CONTROLE

De acordo com Mermer (2001), políticas de comando e controle são aquelas caracterizadas por prescrever tecnologias, limites de emissões, restrições emergenciais ou proibições. Eles usam a imposição de requerimentos legais e controle de comportamento e requerem monitoramento para assegurar o cumprimento das normas. O não cumprimento das regras é comumente penalizado através de multas (penalidades financeiras), mas alguns tipos de negligência resultam em encarceramento. O comando e controle têm o benefício da certeza. As regras são claras e baseadas em uma autoridade central que define os limites, como que tecnologia deve ser usada e quais os níveis de emissão aceitáveis. São muito úteis no estabelecimento de limites dos efeitos em função de diferentes poluentes. Existem casos onde

um pequeno acréscimo de um tipo de poluente pode gerar grande impacto sobre o meio ambiente, podendo levar ao colapso do meio ambiente. Em compensação, na literatura sobre instrumentos econômicos, existem várias críticas em relação às medidas geradas (limites estabelecidos) nas políticas de comando e controle.

Seroa da Motta (2000) complementa que os instrumentos de controle, usualmente adotados nas políticas ambientais, são na maioria das vezes orientados por relações tecnológicas, padrões e processos e impostos de forma pouco flexível a todos os usuários, e às vezes sem diferenciação espacial. Ou seja, eles não consideram explicitamente os custos individuais de cada usuário. Este tipo de instrumento geralmente impõe níveis máximos de poluentes ou de utilização a serem atingidos, penalizando quem os ultrapassa. Desta forma, os agentes econômicos com estruturas de custo completamente diferentes acabam recebendo o mesmo tratamento. Além disso, a sua aplicação prática é difícil, pois exige um alto grau de conhecimento técnico para a fiscalização que às vezes se torna muito custosa para os órgãos responsáveis.

3.5.1 Problemas relacionados com instrumentos do tipo “Comando e Controle – CC”

As críticas ao comando e controle são baseadas em três principais razões. Primeiro é considerado muito mais dispendioso em sua implementação em relação aos instrumentos econômicos. A regulação requer pesquisas sobre os limites apropriados de emissões e inovação tecnológica. Envolve também negociação com a indústria e requer o monitoramento, documentação e fortalecimento do conjunto de padronizações. Esses custos podem frequentemente exceder os custos de investimento necessários para efetivamente reduzir uma fonte poluidora. Vários estudos estão sendo feitos para mensurar a diferença relativa dos custos entre instrumentos econômicos e regulações direcionadas à redução dos níveis de emissão. Em média, estes estudos concluem que instrumentos de comando e controle podem ser de 1,07 a 22 vezes mais dispendiosos do que incentivos econômicos para obter o mesmo resultado. Estes custos são cobertos com recursos do estado e não possuem um sistema de reposição. O monitoramento, a documentação e outros custos administrativos são financiados geralmente por receitas públicas e suplementadas com o pagamento de multas. E essas receitas não estão associadas com a fonte poluidora, (Mermer, 2001).

A inflexibilidade em relação ao mecanismo de redução da poluição é a segunda grande crítica a esse tipo de instrumento. Se é demandada uma tecnologia específica, usualmente com a descrição de “melhor eficiência” ou “eficiência aceitável”. Entendendo que esta é a melhor tecnologia disponível, isso não é necessariamente a melhor solução para todas as fontes de poluição. E também não implica na melhor relação “custo-benefício” em relação à tecnologia empregada. Pois quando uma tecnologia é muito específica, torna-se muito pequena a chance de uma firma em particular poder eficientemente reduzir as suas emissões. Pois no mercado existem empresas novas e antigas. As empresas novas são implementadas com a nova tecnologia, mas empresas antigas para se adaptarem a nova tecnologia necessitam um processo de renovação do seu sistema de produção, que torna a adequação a tecnologia requerida um fator de inviabilidade econômica da continuidade de suas atividades de produção, (Mermer, 2001).

Weydmann (2005), define que além disso, o agente polui mais se o ganho adicional compensa a maior taxa. Por tanto o imposto não garante o controle sobre as atividades poluentes dos agentes.

Em terceiro, argumenta-se que este tipo de regulamentação não é compatível com o princípio do “poluidor pagador”, já que a experiência mostra que quando acidentes ocorrem os resultados são pagos pela sociedade através de problemas de saúde por exemplo e contaminação do ar, da água e de recursos da terra. Os poluidores não pagam pelos serviços que o meio ambiente presta e que são perdidos. Em quarto, não há incentivo para que o processo de inovação permita reduzir os níveis de emissão abaixo do limite especificado. Se a lei esta sendo cumprida esta tudo bem, (Mermer, 2001).

3.6 INSTRUMENTOS ECONOMICOS – IE’S

De acordo com Mermer (2001), no contexto de instrumentos econômicos, quando bens e serviços ambientais possuem um valor de mercado igual a zero, isso incentiva o uso abusivo destes bens e serviços. A aplicação de instrumentos econômicos promove um incentivo as empresas a modificar seus impactos ambientais através do reconhecimento de um valor econômico do uso dos recursos ambientais. Certos instrumentos são melhores para determinados poluentes ou situações e podem ser usados em todos os níveis da governabilidade, e desta forma podem ser entendidos como uma “reforma ecológica com

base econômica”. E como tem se observado, vários benefícios dos instrumentos econômicos. Eles têm sido amplamente utilizados por diferentes governos como sistemas de controle da poluição.

De acordo com Seroa da Motta (2000) os IEs são mais flexíveis, por incentivar uma maior reduções do nível de uso daqueles usuários que enfrentam custos menores para realizar estas reduções. Isto, conseqüentemente, tornará menor o custo total de controle para a sociedade. Além disto, incentiva a inovação tecnológica que reduza o custo de uso ou de poluição a ser pago pelo usuário/ poluidor.

3.6.1 Benefícios baseados no uso de instrumentos econômicos

De acordo com Mermer (2001), instrumentos econômicos possuem três principais benefícios ao usar a economia como meio de encorajar a redução da poluição. O primeiro e o uso de resultados observando soluções econômicas eficientes, em segundo e a consideração dos resultados da relação custo/ eficiência e em terceiro e o continuo incentivo a inovação e melhoria. Ou seja, nas circunstancias corretas, eles podem controlar múltiplas fontes de poluição mais facilmente que os instrumentos de regulação.

De forma mais aprofundada os economistas propõem o uso de instrumentos econômicos por que eles são economicamente eficientes para encontrar o ponto ótimo de poluição. Atuando sobre os preços das entradas e ou incluindo os custos de uso dos recursos ambientais, as industrias são induzidas a mudanças visando o ponto ótimo do uso de todas as entradas. Um exemplo clássico é uso das “Licenças negociáveis”. Onde todas as empresas possuem uma cota máxima de uso dos recursos ou de emissões, mas ao reduzir o uso da sua cota ela pode negociar com outras empresas as cotas não utilizadas.

Também se deve citar que a relação custo benefício será positiva para as industrias desde que permita a industria por sua conta determinar o melhor caminho para executar as mudanças. Enquanto a regulamentação representa a imposição de um lado, instrumentos econômicos podem ser vistos como mais flexíveis.

3.6.2 Desvantagem dos IE's

Como ponto fraco dos instrumentos econômicos deve-se citar o fato de que como nos instrumentos de regulação, se faz necessário custos com monitoramento e administração. A diferença é que estes custos geralmente ocorrem na fase de implantação do sistema, pois se espera que após o amadurecimento do sistema o próprio mercado atue no controle dos atores. E então não se faz mais necessário um monitoramento expressivo por parte do Estado. Um segundo ponto fraco se refere a sobrevivência de pequenas empresas, onde os custos de adaptação ao sistema de mercado podem inviabilizar a sustentabilidade financeira da empresa.

3.6.3 Condições necessárias para adoção de instrumentos econômicos

De acordo com Seroa da Motta (2000), o tema “Instrumentos econômicos” requer algumas condições políticas, legais e institucionais. Instrumentos são meios para atingir um determinado fim. Logo a definição de um instrumento requer anteriormente a definição de um objetivo de política. Assim para aplicar um IE há que *a priori* definir prioridades. Entretanto, definir prioridades não é uma tarefa trivial. As magnitudes econômica e ecológica das questões ambientais são distintas e as suas importâncias relativas têm que ser esboçadas. É, portanto, necessário um exercício de priorização dos objetos das ações de política. Todavia, tal esforço requer uma iniciativa, que deve estar presente no interior do sistema de planejamento, como a de estabelecer concretamente este objetivo de gerar indicadores físico-químicos que avaliem o padrão de uso dos recursos ambientais associados a indicadores econômicos e sociais que avaliem sua inserção na economia real. As condições essenciais para realizar estas iniciativas são:

- a) a criação de um sistema estatístico ambiental que defina tais indicadores
- b) o estabelecimento de relações destes com os tradicionais indicadores econômicos e sociais.

Entretanto, cabe ao gestor ambiental, Ministério do Meio Ambiente, órgãos ambientais estaduais e municipais e seus colegiados, definirem um conjunto mínimo e viável de indicadores ambientais e iniciar este processo de consolidação estatística. É inócuo esperar que a área de planejamento antecipe estas demandas ambientais, pois, será a demanda por informações ambientais que definirá a sua oferta.

Todavia, a condição necessária para este processo de priorização é a reforma institucional dos órgãos ambientais e sua capacitação por intermédio de reconhecimento administrativo no seio do aparato estatal, Seroa da Motta et al (1999).

3.6.4 Definição dos tipos de instrumentos econômicos

De acordo com Mermer (2001), os instrumentos de mercado podem ser classificados em três principais categorias: incentivos, desincentivos e incentivos indiretos. Os “Incentivos positivos” buscam recompensar a indústria por implementação de tecnologia “amiga do meio ambiente”, evitando o impacto através da disposição segura do produto ou através da escolha de material que cause menos impacto ao meio ambiente. Os “Desincentivos” punem o comportamento poluidor de forma indireta, pois quanto mais poluição for reduzida menos taxas e impostos ocorrem. Os “Incentivos indiretos” não punem e nem recompensam, mas buscam outros meios para alcançar a redução dos impactos e a melhoria do comportamento ambiental.

Seroa da Motta et al (1999), complementa afirmando que algumas das maiores oportunidades para a melhoria da gestão ambiental estão entre as que surgem de instrumentos econômicos adequados. A aplicação destes mecanismos tem, tipicamente, vários objetivos. Em primeiro lugar, os efeitos de incentivo, que fornecem, aos poluidores ou usuários de recursos, motivos econômicos para minorar seus impactos, se refletem nas cobranças ao usuário por serviços típicos de infra-estrutura, tais como saneamento básico e abastecimento de água. Os incentivos também podem ser usados para afetar as opções intermodais: impostos ambientais sobre combustíveis podem desestimular o uso de automóveis particulares e, concomitantemente, reduzir a demanda de bens públicos complementares, tais como a expansão da malha viária. Em segundo lugar, as abordagens econômicas podem ser usadas como base na taxação convencional: isto é especialmente importante onde se espera que as instituições locais sejam financeiramente autônomas, ou onde sejam, elas próprias, solicitadas a financiar determinadas funções regulatórias. Uma variante importante das cobranças ao usuário é a “taxa estimada ou presuntiva”. A base da taxa é uma cobrança sobre emissões a um nível de poluição estimado. Uma empresa é obrigada a pagar a taxa, não sendo realizado o controle requerido legalmente. Se a empresa desejar reduzir sua carga fiscal, deve realizar um

monitoramento à sua própria custa (mas sujeita, ainda, a uma auditoria regulatória) para demonstrar que suas cargas efetivas de poluição são menores que as cargas presumidas.

3.6.4.1 Definição do tipo de incentivo

Mermer (2001), ao entender que existem diversos tipos diferentes de incentivo e considerações muito importantes a serem feitas ao definir um sistema de incentivo econômico. Ele conclui que o mesmo critério usado na seleção de qualquer tipo de instrumento de política pública, dependendo da circunstância pode ter o potencial de afetar a decisão final de aceite ou rejeição do instrumento. E ele estabelece oito critérios básicos na definição do instrumento adequado para a situação adequada.

1. Eficácia ambiental:

Esse critério é o primeiro em vários trabalhos e isso indica ser ele o mais importante principalmente por ser ele a razão da existência dos incentivos. A primeira questão é quanto eficiente um particular instrumento é para gerar um resultado. Esse critério é importante na avaliação de custos e benefícios como taxas e impostos desde que estes dependem dos sinais recebidos pelos poluidores e suas conseqüentes responsabilidades.

Considerações em relação a eficiência ou eficácia ambiental são: o impacto das emissões, o impacto sobre o meio ambiente observando a expectativa de redução, o valor econômico associado com a melhoria do meio ambiente. Dificuldades em avaliar esse critério são avaliar esse critério em separado de outras regulamentações e avaliar os benefícios que irão ocorrer no futuro.

2. Relação custos/ eficácia:

Instrumentos econômicos possuem uma relação “custo/ eficácia” mais positiva do que regulamentações na fase de implementação. Custos a serem considerados são: custos do novo equipamento, aumento dos custos de operação do novo equipamento, novos custos de conformidade dos negócios e os custos de mudança dos padrões de consumo dos consumidores. Outros custos a serem considerados se referem a custos administrativos de mensuramento, monitoramento, e coleta de impostos ou taxas e os custos da imposição. Fazer

um balanço destes custos depois de mensurar os benefícios econômicos da redução dos impactos ambientais e uma segunda barreira para a aceitação de qualquer novo instrumento.

3. Eficiência dinâmica

Os instrumentos econômicos oferecem um contínuo incentivo a inovação de metodologias e tecnologias de redução da poluição. Mas deve-se considerar alguns problemas com relação a esse critério, principalmente em função do tempo de manifestação dos efeitos que pode ser longo e a demanda de uma indústria ou de um país em particular pode não ser suficiente para induzir a mudança.

4. Equidade

As regiões onde os instrumentos são implementados podem variar em relação ao seu estágio de desenvolvimento e abundância. Os efeitos de distribuição para o incentivo de uma economia deve ser considerado observando sua tendência regressiva ou progressiva. A tendência regressiva é referente ao fato de que taxas e impostos costumam afetar mais as pessoas pobres, principalmente quando o recurso taxado se refere a uma necessidade como eletricidade. Outras considerações podem ser direcionadas para a competitividade, efeitos do trabalho e efeitos de crescimento.

5. Facilidade de introdução

Não são apenas critérios que influenciam na decisão da viabilidade de um instrumento. A capacidade do governo em lidar com um novo tipo de instrumento e introduzi-lo no sistema e também muito importante para o sucesso dessa ferramenta. Incluindo a capacidade institucional de monitorar e implementar qualquer incentivo econômico. Isso também inclui os custos administrativos da implementação e do monitoramento.

6. Capacidade de prognóstico

As companhias não são capazes de obter retorno dos investimentos em curto prazo. Desta forma os instrumentos econômicos a serem introduzidos devem ser transparentes e permitir que a empresa enxergue o potencial de retorno em longo prazo para que as empresas não

interpretem uma nova política pública ou instrumento de incentivo apenas como custos adicionais.

7. Aceitabilidade

Sempre se faz necessário um extensivo “marketing” sobre os instrumentos econômicos de forma a mostrar as virtudes de cada sistema. A sociedade como um todo entende que já existem taxas e impostos suficientes e desta forma novos instrumentos econômicos não são facilmente aceitos. Outra questão é que cada “Stakeholder” tem o seu “contra argumento” a respeito dos instrumentos de mercado. Grupos ambientalistas frequentemente vêem os instrumentos de mercado como “licenças para poluir” dentro do princípio do “poluidor pagador”. Do outro lado o controle excessivo do governo sobre as fontes de poluição geram na indústria o sentimento de uma situação negativa para a sua competitividade e desta forma pode ser a origem de uma grande recessão mundial.

8. Receita

Alguns instrumentos econômicos são capazes de produzir receitas significantes. Mas essas receitas podem ser indiretas. E às vezes quando o incentivo para o abatimento de um determinado poluente é grande, essa receita tende a diminuir. Como exemplo pode-se citar o aumento das taxas sobre combustíveis. Ao mesmo tempo em que isso incentiva o uso do transporte público, deve-se entender que o preço do transporte público também irá aumentar. Mas de outro lado o gasto do governo com a saúde pública irá diminuir. E desta forma teoricamente o governo poderá dar maior incentivo a outras áreas.

Mermer (2001) complementa a definição de qual instrumento é mais adequado para qual situação, apresentado na Figura 3.2 onde se procura mostrar qual o melhor instrumento para cada conjunto de situações.

Incentivos	Exemplos	A favor (+) e contra (-)
Subsídios	<ul style="list-style-type: none"> • Resíduos domésticos • Uso da terra • Poluição industrial 	(+) política popular (+) Objetivos específicos (-) impactos financeiros sobre os incentivos do governo (-) Pode estimular as atividades industriais (-) incerteza em relação aos efeitos ambientais
Sistemas de depósito-reembolso	<ul style="list-style-type: none"> • Baterias • Embalagens de bebidas • Automóveis 	(+) reduz o lixo (+) Estimula a reciclagem (+) O produto deve ser reusado ou reciclado (-) os custos de transação podem ser altos
Impostos ou taxas sobre poluição	<ul style="list-style-type: none"> • Taxas de emissão • Taxas de efluentes • Taxas sobre resíduos sólidos • Taxas sobre esgoto doméstico 	(+) estimula novas tecnologias (+) útil quando o dano por unidade de poluente varia pouco em relação a quantidade de poluente. (-) pode gerar uma grande distribuição dos efeitos (-) incerteza dos efeitos sobre o meio ambiente (-) Geralmente requerem dados de monitoramento
Taxas e impostos sobre entradas e saídas	<ul style="list-style-type: none"> • Taxas sobre combustíveis • Taxas sobre carbono • Taxas sobre fertilizantes • Taxas sobre pesticidas • Taxas sobre materiais primários • Taxas sobre uso de água • Taxas sobre CFC 	(+) simplicidade administrativa (+) Não necessita dados de monitoramento (+) aumenta a receita (+) efetivo quando o dano por unidade de poluente varia pouco em relação a quantidade de poluente (-) possui frequentemente uma fraca ligação com o poluente (-) Incerteza dos efeitos ambientais
Responsabilidade estrita	<ul style="list-style-type: none"> • Danos aos recursos naturais • Perturbações • invasões 	(+) Gera grandes incentivos (-) os custos de avaliação e de mitigação podem ser altos. (-) as fronteiras são grandes (-) poucas aplicações
Licenças negociáveis	<ul style="list-style-type: none"> • Emissões • Efluentes • Licenças de pesca • Desenvolvimentos dos direitos 	(+) prove limites de poluição (+) efetivo quando o dano por unidade de poluente varia com a quantidade de poluente (+) estimula a inovação tecnológica (-) os custos de transação podem ser altos
Sistemas de informação obrigatórios	<ul style="list-style-type: none"> • Inventário de emissões tóxicas • Sistemas de rotulagem 	(+) baixo custo (+) flexível (-) difícil prever os impactos (-) aplicável apenas quando o dano por unidade de poluente não depende da quantidade de poluição.
Programas voluntários de certificação	<ul style="list-style-type: none"> • Reduções voluntárias • Códigos de conduta 	(+) baixo custo (+) Flexível (+) Diferentes tipos de aplicação (+) Experiências podem testar novas iniciativas (-) Incertezas com relação a participação e os resultados obtidos

Figura 3.2: Qual o melhor tipo de instrumento para cada conjunto de situações

Adaptado de Carlin, A. The United States Experience with Economic Incentives to control environmental pollution, (Washington; U. S. Environmental Protection Agency, 1992).

3.6.4.2 Criação de Mercado (Licenças e Depósito-Reembolso)

Seroa da Motta et al (1999), define que em um nível mais complexo, as abordagens econômicas podem incluir alguma forma de criação de mercado. O sistema mais complexo envolve licenças comercializáveis nas quais estão determinados os direitos do poluidor/ usuário, de acordo com um nível total desejado de uso ou poluição, sendo seu cumprimento conseguido por comercialização de licenças. Uma vantagem desses sistemas é que eles reduzem a burocracia e a participação do governo no processo. Esta descentralização da tomada de decisões é especialmente importante nas economias de alto crescimento, onde um arrasto regulatório poderia ser um problema.

Mermer (2001) conclui que em relação as permissões negociáveis “cap and trade”, onde “cap” se refere ao limite de emissões possíveis, os participantes desse processo comercializam entre eles autorizações para usar esse total entre eles. Nesse sistema o governo costuma estabelecer um limite de emissões baseado em dados históricos e compra uma certa porção dessas licenças para regular imperfeições que apareçam. No segundo caso não existe o “cap”, mas se estabelece um limite de acordo com o consumo padrão histórico e então as reduções obtidas podem ser negociadas (mercado de credito de emissões).

Outra forma de criação de mercado potencialmente importante envolve as reformas do direito de propriedade que conferem uma certa forma de direito de propriedade (individualmente ou em conjunto) em áreas de grande sensibilidade ambiental: isto exige que qualquer entidade que empreenda obras de infra-estrutura (rodovias ou outros direitos de passagem) nessas áreas negocie uma compensação com os proprietários das áreas afetadas. Os sistemas de depósito-reembolso também se baseiam em um mercado criado para comprar de volta fontes de resíduos sólidos. Estes têm sido usados extensivamente para promover a reciclagem. Estes esquemas são também adequados para problemas difíceis tais como a gestão de resíduos tóxicos e de risco, (Seroa da Motta et al, 1999).

Mermer (2001) complementa definindo que a questão dos “Direitos de Propriedade”, envolve a alocação dos direitos de propriedade sobre os bens ambientais. Isso por que algumas externalidades resultam da indefinição dos direitos de propriedade sobre os bens e serviços ambientais. A base principal é o fato de que quando o bem ou serviço tem seu direito de propriedade claramente definido, o proprietário é induzido a observar vantagens na

manutenção desse bem ou serviço para manter o valor do mesmo. Um exemplo se refere a licença de pesca. Se a licença for de curto prazo, o pescador tende a esgotar o recurso buscando otimizar o uso da sua licença em curto prazo. Se a licença for de longo prazo o pescador é induzido a buscar a manutenção do estoque para otimizar o uso da sua permissão.

3.6.4.3 Comportamento voluntário e instrumentos de informação (Selos Ambientais, Exigências de Divulgação ou Consciência Ambiental)

Seroa da Motta et al (1999), afirma que uma última forma de instrumento econômico envolve a intervenção na demanda final através da educação ou informação aos consumidores. O uso de selos ambientais, que tenta promover a produção e embalagem ambientalmente saudáveis, é uma forma relativamente passiva de intervenção. Uma forma mais agressiva envolve a promulgação de exigências de divulgação: exige-se que as empresas publiquem precisamente o que elas poluem. Não há sanções conectadas a esta divulgação, mas os consumidores têm a opção de conhecer o impacto ambiental de produtos de determinadas empresas. Um outro exemplo de educação e formação de consciência ambiental, direcionado às empresas para um programa de minimização de resíduos, que presta assistência na melhoria da eficiência do uso de energia e de materiais em fábricas, ao mesmo tempo em que reduz a geração de resíduos. Todas as intervenções desse tipo podem, de fato, reduzir as exigências de infra-estrutura urbana, melhorar a qualidade ambiental e ter importantes “sub-produtos” em outros setores sociais. Sua principal desvantagem é que elas geralmente resultam em alguma forma de subsídio.

Mermer (2001) define que ao usar “instrumentos de informação” (sistemas de informação) o governo oferece informações sobre a performance ambiental das indústrias e assim permite ao consumidor decidir sobre qual produto ele deseja comprar observando o comportamento ambiental e também permite as empresas ter um banco de dados onde ela pode melhorar seu “benchmarking” e observar os melhores pontos para melhorar seu comportamento ambiental. E que “Selos” ou “Programas de Certificação” são usados para mostrar a performance ambiental da organização. Sendo que a diferença para os sistemas de informação é que esse processo é voluntário. E isso também permite aos consumidores escolher entre diferentes produtos de acordo com a qualidade ambiental do processo. Mas pode ocorrer o processo de “free rider” em função da flexibilidade do processo de certificação e uma empresa com um comportamento não tão adequado ganha o mesmo selo que uma empresa realmente

compromissada com a melhoria voluntária do processo de produção, pois o mercado observa apenas a existência do certificado e desconhece os detalhes do processo.

3.7 LEGISLAÇÃO DE RESPONSABILIZAÇÃO

De acordo com Seroa da Motta et al (1999), as abordagens da gestão ambiental orientadas para o litígio exigem apenas que a legislação seja adequada, o que confere aos usuários de recursos direitos e deveres relativamente explícitos. Essas abordagens formam um guarda-chuva legal para as ações judiciais, que consideram, então, a natureza e a extensão dos danos ambientais em bases “caso a caso”. Muitas dessas abordagens são, relativamente, recentes e têm tido uma aplicação muito limitada nos países em desenvolvimento (muitas vezes porque o próprio sistema judiciário é frágil nestes países). Mesmo em países industrializados, eles são prejudicados pelas dificuldades analíticas de estabelecer causa e efeito, ou de atribuir-se culpa ou negligência.

Existem, no entanto, duas aplicações potencialmente úteis desta abordagem dentro de um ambiente urbano. Em primeiro lugar, as exigências de operadores para emitir “bônus de desempenho” de longo prazo têm sido usadas com frequência para projetos de mineração, que podem exigir, em data futura incerta, a recuperação de alguma área devastada. Podem-se aplicar bônus de desempenho semelhantes à construção de rodovias, de oleodutos ou de outro tipo de infra-estrutura urbana que possa afetar os recursos hídricos ou causar erosão do solo. Em princípio, estas exigências de desempenho poderiam até ser aplicadas aos órgãos governamentais, embora nesses casos tenha-se que ter uma verba depositada sob a custódia de um curador independente, fazendo-se também necessária a existência de algum incentivo efetivo para que aqueles órgãos limitem a quebra do equilíbrio ambiental e recuperem o bônus. Em segundo lugar, a legislação de “impacto líquido zero” tem sido aplicada em várias jurisdições: seu intento é assegurar que, caso ocorra em uma área alguma quebra inevitável do equilíbrio ambiental, será feito em outra parte um investimento compensatório. Por exemplo: se uma ponte ou rodovia cause danos a um curso d’água e afete a disponibilidade de água, exige-se um investimento que restitua a água às populações afetadas.

O principal problema dos instrumentos de litígio são os custos de transação derivados das disputas judiciais, que mesmo sendo expeditas têm de considerar geralmente vários poluidores e afetados e determinar as relações de causa e os valores econômicos das

compensações. Assim, uma objeção a esse sistema é também de ordem social: pelo fato de tais sistemas presumirem que todos têm igual acesso aos tribunais, os mecanismos muitas vezes discriminam os pobres e outros com acesso limitado ao recurso legal.

3.8 OUTRAS QUESTOES RELACIONADAS AO USO DE “INSTRUMENTOS ECONOMICOS – IE”

3.8.1 Neutralidade da receita e questões de competitividade

De acordo com Mermer (2001), a carga das taxas ambientais costumam ser mais pesadas se pensarmos particularmente em pequenas e medias empresas. A neutralidade da receita é buscada na forma de compensação dos impactos financeiros do uso de instrumentos econômicos através de programas de redução de outras taxas. Um exemplo é a redução sobre encargos trabalhistas. Outro exemplo (Suécia) e a redistribuição da receita gerada de acordo com a redução alcançada pelas próprias empresas envolvidas. Na Alemanha e na Inglaterra se faz o uso de subsídios financiados com a receita obtida através das taxas ambientais, visando o incentivo a introdução de tecnologias limpas, reciclagem e disposição final dos produtos. Essa neutralidade é muito criticada pelo Estado pois este vê esta situação como perda de receita. Mas o que o governo precisa observar são os efeitos indiretos. Ao se reduzir os encargos trabalhistas, se tem incentivo a abertura de novos postos de trabalho e assim ao mesmo tempo em que o governo reduz a sua receita, ele reduz seus encargos com programas para desempregados. Dessa forma o que se busca é a redução dos efeitos negativos dos instrumentos econômicos sobre a competitividade dessas empresas através de uma neutralidade da receita gerada.

3.8.2 Destinação

Existem muitos casos de taxas e impostos que vão para os cofres do Estado sem uma destinação específica. A destinação pré-definida é necessária para que as taxas recolhidas em função de incentivos a melhoria do comportamento ambiental sejam destinados a programas específicos da área de incentivos a questões ambientais como operações, novas tecnologias de redução de impacto ou subsidio para novos investimentos. Em outras palavras, o dinheiro arrecadado através de taxas ambientais devem ser destinadas a programas ambientais e não serem colocadas em um fundo único do governo, servindo apenas como mais uma fonte de

receita para o governo. Outra vantagem do uso deste dinheiro em programas específicos para o meio ambiente, se refere ao fato das indústrias se sentirem mais motivadas a pagar essas taxas e poderem usar sua imagem vinculada a esses programas como marketing perante a sociedade, (Mermer, 2001).

3.8.3 Adequação do valor do incentivo

Quando governos implementam instrumentos econômicos, deve haver um compromisso em induzir a mudanças de comportamento introduzindo taxas e impostos em um nível adequado. No passado isso não ocorria pois primeiramente instrumentos de mercado foram utilizados no sentido de aumentar a receita do governo apenas. Hoje se faz necessário que a taxa não seja baixa a ponto de não incentivar a mudança, pois pagar a taxa significa menos custo do que fazer as mudanças necessárias para a melhoria do comportamento ambiental. E também não pode ser uma taxa tão alta que torne o sistema produtivo não competitivo, (Mermer, 2001).

3.8.4 “Distorções” e ou “Subsídios perversos”

De acordo com Seroa da Motta (1999), os incentivos perversos referem-se a uma classe de IEs, que embora pretendam melhorar a qualidade ambiental, trabalham de fato na direção oposta. A presença destes incentivos indica um projeto malfeito ou a aplicação inadequada de um IE. Dois incentivos perversos relativamente comuns no painel de países indicam que a experiência no desenvolvimento de IEs adequados é ainda limitada. Em primeiro lugar, os esquemas existentes ou propostos de cobrança por efluentes em alguns dos países ainda baseavam-se na concentração de poluentes, ao invés de cargas. O efeito de se usar concentrações como indicadores de poluição é que cria um incentivo para que as empresas diluam a poluição através, por exemplo, da captação de mais água, depositando então um volume bruto maior de resíduos diluídos nos cursos d'água. As taxas ou cobranças baseadas na concentração de poluentes podem, de fato, ter o efeito perverso de reduzir a conservação de água, aumentando os custos industriais de tratamento e aumentando também os danos causados pelos poluentes. Em segundo lugar, embora os diferenciais fiscais sobre equipamentos possam ser facilmente implementados, a maioria dos países da região aplica impostos diferenciados de tal modo que existe um incentivo para manter os veículos mais velhos rodando por períodos mais longos. Dadas as más condições desses veículos, esse tipo de tratamento fiscal tem o efeito perverso de aumentar o consumo de combustíveis, aumentar

a poluição e elevar os custos de manutenção. Os alegados impactos de “eqüidade social” desses esquemas são, acima de tudo, caracteristicamente ilusórios.

De acordo com Mermer (2001) um terceiro efeito perverso ocorre quando os governos invariavelmente subsidiam atividades de certos setores da economia como um reforço a setores particulares, visando a proteção de cargos de trabalho ou aumento da competitividade de certos setores (Ex.: subsídio de insumos agrícolas). No caso de subsídios eles freqüentemente podem ter um efeito negativo sobre a economia e o meio ambiente em um longo prazo. No caso dos subsídios agrícolas que reduzem o custo de produção, acabam por encorajar o uso de mais terra para cultivo passando do ponto ótimo ambiental e conseqüentemente também aumentam o impacto ocasionado pelo uso de fertilizantes como na contaminação de rios com produtos inorgânicos. Resumindo, no geral os subsídios podem ser usados para redução do impacto de uma firma em particular. Mas em longo prazo tendem a trazer novos atores ao sistema e desta forma gera o aumento do impacto se observarmos todo o sistema envolvido, (Mermer, 2001).

Mas eles podem também ter um comportamento não distorcido e assim não perversos. Um subsídio “Pigouviano” pode ser usado para internalizar uma externalidade positiva. Como por exemplo o plantio de espécies que não sejam colhidas na recuperação de solos erodidos.

Seroa da Motta (2000) lembra que a inserção da questão ambiental nas políticas econômicas é também uma forma de coibir ou ajustar IE de uso em outras políticas governamentais que afetam indiretamente os problemas ambientais, tais como:

- a)** as orientadas para recursos naturais e infra-estrutura, como as de energia, abastecimento de água, malha viária e outras;
- b)** as tipicamente setoriais, como, por exemplo, expansão agropecuária e industrial;
- c)** as de cunho macroeconômico voltado para estímulos às exportações, geração de emprego e investimentos;
- d)** as de conteúdo estrutural como a reforma agrária e as privatizações;

e) as de objetivo distributivo que estimulam as pequenas empresas, o assentamento urbano e outras.

E desta forma serve para remover incentivos perversos de outros setores da economia. O conhecimento das implicações ambientais já construído no sistema gestor ambiental e na literatura especializada permite, pelo menos, que se removam e ou se evitem incentivos perversos ao meio ambiente que comprometem a consecução dos objetivos maiores destas políticas.

Certamente, as incertezas sobre vários impactos ambientais vis-à-vis os benefícios desejados poderá, em certos casos, indeterminar as decisões. Todavia, o reconhecimento e a prática de inserção poderão, por outro lado, contribuir para um ajustamento menos custoso e mais eficiente destas políticas. Nestes casos de indeterminação, a postura recomendada seria a identificação das possíveis perdas e perdedores resultantes destes impactos ambientais e as possíveis ações mitigadoras, à luz do que se tenta praticar em termos de políticas sociais compensatórias.

Um exemplo de iniciativa de eliminação de incentivos perversos foi a alteração da alíquota do imposto territorial rural (ITR) incidente sobre matas nativas. Até então o ITR cobrava uma alíquota de improdutividade sobre áreas de matas nativas. Tal incidência incentivava o desmatamento destas áreas para configurar benfeitorias e reduzir a alíquota incidente. Na última revisão do ITR criou-se a possibilidade do agricultor registrar estas áreas como de preservação e assim reduzirem drasticamente as alíquotas incidentes. Ainda é muito cedo para avaliar os resultados efetivos dado que, embora tenha havido um alto índice de registro destas áreas junto aos órgãos ambientais, a sua fiscalização ainda está em evolução.

Igualmente os objetivos do Protocolo Verde de incluir critérios ambientais nas normas de financiamento governamental, particularmente na agricultura, também representam iniciativas neste sentido.

3.9 CONCLUSÕES

Em função de imperfeições do mercado, o mecanismo de mercado é insuficiente para trazer o preço apropriado de bens e serviços fornecidos pelo meio ambiente. Essas falhas de mercado em função dos custos relativos das entradas serem inapropriados, levam a um excessivo uso

do ar, água e terra e causam uma poluição além do ponto adequado, podendo os seus efeitos não ser passíveis de corrigir de forma economicamente viável. Métodos para redução das emissões de poluentes de empresas têm sido tradicionalmente baseados no conceito de “comando e controle”, os quais impõe limites as emissões ou prescrevem uma determinada tecnologia limpa determinada por lei. Penalidades devido a não conformidade incluem multas e em alguns casos pode ocorrer o aprisionamento. Esse sistema tem como defeito o fato de não incentivar o melhoramento contínuo e assim não incentiva inovação pois só observa o cumprimento ou não de conformidades.

Segundo Seroa da Motta et al (1999), os instrumentos econômicos (IEs) estão sendo usados em muitos países para melhorar a qualidade ambiental. Estas abordagens abrangem uma ampla gama de mecanismos possíveis. Em um extremo, incluem multas ou sanções que são ligadas aos tradicionais regulamentos do tipo “comando e controle” (C&C). No outro extremo, incluem abordagens “laissez-faire”, as quais exigem que uma advocacia do consumidor ou litígios particulares atuem como incentivos para a melhoria da gestão ambiental. No centro, encontramos abordagens mais comuns do tipo “taxação e subsídio”, assim como os mecanismos menos comuns que se baseiam em direitos de propriedade comercializáveis. Os IEs são amplamente considerados como sendo uma alternativa economicamente eficiente e ambientalmente eficaz para complementar as estritas abordagens C&C. Teoricamente, ao fornecerem incentivos ao controle da poluição ou de outros danos ambientais, os IEs permitem que o custo social de controle ambiental seja menor e podem ainda fornecer aos cofres do governo local a receita de que tanto necessitam. No entanto, os custos administrativos associados aos IEs podem ser mais elevados. As exigências de monitoramento e outras atividades de fiscalização continuam, como no caso do C&C, podendo haver a necessidade de esforços adicionais de administração, a fim de fazer face às mudanças institucionais e de projeto que surgem da aplicação dos IEs.

De acordo com Seroa da Motta (1999), em 1989 a OCDE identificou mais de cem tipos diferentes de “instrumentos econômicos” (IEs) quando, pela primeira vez, estas políticas de gestão ambiental estavam sendo consideradas em muitos países. Incluía, por exemplo, impostos sobre embalagem, taxas e impostos sobre emissões, subsídios à operação ou aos investimentos em controle ou tecnologias limpas, licenças comercializáveis, esquemas depósito-reembolso, bônus de desempenho, instrumentos de responsabilização e muitos outros. Estudos mais recentes feitos pela OCDE indicam que muitos destes vêm sendo

também preferidos nos países em desenvolvimento. A experiência tem demonstrado que contar com os IEs pode:

- a) reduzir os custos resultantes do cumprimento da legislação;
- b) baixar os encargos administrativos do setor público;
- c) melhorar as condições ambientais em termos de qualidade do ar urbano e qualidade da água urbana;
- d) baixar as emissões e efluentes de resíduos tóxicos e não-tóxicos;
- e) melhorar as condições de saúde humana, o que, por sua vez, aumenta a produtividade econômica e baixa os custos dos serviços de saúde;
- f) contribuir para a sustentabilidade institucional através do apoio às instituições do setor público que tenham eficiência de custos e que cooperem com o setor privado e com as organizações não-governamentais

Instrumentos econômicos começam a ser usados buscando os mesmos resultados. Taxas sobre emissões, impostos sobre produtos poluentes e outras ferramentas para colocar preço em serviços ambientais contabilizados como outros produtos e visando maximizar seu uso. Observando como um todo, os instrumentos economicos têm como maior benefício a capacidade de atuar sobre diferentes qualidades de poluentes. O custo benefício da redução da poluição, a flexibilidade fornecida aos agentes poluidores em escolher a usa própria estratégia de redução e o incentivo para a melhoria continua e inovação. E pode também ser uma ferramenta para geração de receita para o estado. Mas em compensação, essas ferramentas podem ter conseqüências distributivas e competitivas dependendo do poluente envolvido e o formato do incentivo. A aceitação pela industria e pelo publico pode não ser fácil desde que o instrumento econômico não e familiar e pode passar a impressão do “direito de poluir”. No caso de pequenas e medias empresas, deve-se considerar vantajoso o uso de instrumentos econômicos em função de sua flexibilidade e capacidade de inovação. Quando a implementação de novas taxas ambientais e impostos forem acoplados a uma taxa neutra de receita de outra área, isso pode levar a criação de empregos assim como a redução de poluição. Os instrumentos possuem aspectos positivos e negativos e são melhores aplicados em situações especificas. O aspecto mais importante a ser avaliado no momento da escolha de um determinado instrumento e a sua capacidade de melhoria dos aspectos ambientais envolvidos e o custo/ benefício envolvido. Outras considerações como efeitos distribucionais, efeitos de incentivos e sua facilidade de introdução também são importantes. Assim como

avaliar possíveis “efeitos perversos” que podem ocorrer. Com a implementação de instrumentos econômicos a produção e consumo de bens e serviços introduzem um grande peso ao meio ambiente que deve ser reduzido de acordo com o custo de oportunidade, incluindo os custos ambientais. Fornecendo sinais que refletem os custos de oportunidade dos recursos naturais, a possibilidade para atividades “ecoindustriais” como solução potencial que a indústria pode implementar durante a redução do seu impacto fica provado, (Mermer, 2001).

Seroa da Motta et al (1999) complementa que em cada caso, existe geralmente tanto um elemento de incentivo quanto um elemento de controle. Falando claramente, não há como evitar a clássica “cenoura pendurada numa vareta”. A experiência com estes tipos de mecanismos em todo o mundo tem demonstrado que eles possuem diferentes vantagens e desvantagens e que, dependendo das metas do governo, alguns mecanismos são melhores do que outros. Desta experiência podem-se tirar as seguintes conclusões gerais:

- Os sistemas baseados exclusivamente em abordagens orientadas para o controle impõem altos custos de controle e muitas vezes não é possível fiscalizar sua aplicação dada a capacidade institucional existente;
- As abordagens orientadas para o litígio exigem o desenvolvimento de um sistema judiciário forte ao qual tenham acesso igual todos os membros da sociedade;
- Os instrumentos econômicos possibilitam aos poluidores e usuários de recursos encontrar a combinação de controles que lhes seja mais favorável, daí resultando custos mais baixos do que outras abordagens;
- Os instrumentos econômicos permitem as agências ambientais atingirem, em primeiro lugar, as áreas, os poluidores e os usuários de recursos que tenham alta prioridade;
- As autoridades locais desempenham um papel importante no sucesso dos mecanismos econômicos.

Seroa da Motta (2000) finaliza as conclusões afirmando que a remoção de incentivos setoriais perversos ao meio ambiente é condição básica para ampliar o uso de IEs. Uma vez definido o objetivo de política e a inserção desta com outras ações setoriais de governo, uma possível atuação mais eficiente dos organismos internacionais poderia estar na participação em algumas das fases acima analisadas com alocação de recursos financeiros e humanos. Os órgãos ambientais poderiam então, basear suas demandas junto a estas agências

internacionais, no que se refere à introdução dos instrumentos econômicos, enfatizando as fases e etapas acima que acreditam serem as mais necessárias para a assistência técnica e financeira. Estas instituições internacionais poderiam, igualmente, guiar sua assistência nas mesmas bases, de forma que possam ajudar os países a aproveitarem ao máximo os ganhos sociais e em eficiência dos instrumentos econômicos para a gestão ambiental.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Chang, M. Y. (2001) La economía ambiental. In: PIERRI, Naína; FOLADORI, Guillermo (Ed.). *¿Sustentabilidad? Desacuerdos sobre el desarrollo sustentable*. Montevideo: Imprensa y Editorial Baltgráfica. p.165-178.

Canas A, Ferrão P., Conceição P. A (2003) New Environmental Kuznets curve? Relationship between direct material input and income per capita: evidence from industrialized countries. *Ecological Economics* n°46: 217-229p.

Coase, R. (1960) The problem of social cost. *Journal of Law and Economics*, vol. 3, pp. 1-44.

Commission of the European Communities (2007) Green Paper on market-based instruments for environment and related policy purposes. Brussels. 388 p.

Cowen, T. (2000) Bens públicos e externalidades In: Henderson , D.; Neves, JC. (2000) *The fortune encyclopedia of economics*, Warner Books, Minneapolis, USA. P.896

Egerston, T. (1997). “The Old Theory of Economic policy and the New Institutionalism”. *World Development*. 25 (8): 1187-1203

Eshet, T.; Ayalon, O.; Shechter, M. (2005) Valuation of externalities of selected waste management alternatives: a comparative review and analysis. *Resources, Conservation and Recycling* 46 pp. 335–364

McConnel, C.; Brue, S. (2001) *Microeconomia, Princípios, Problemas e Políticas*, 14ª edição. Rio de Janeiro: LTC. 469 p.

Mermer, T.L. (2001) Market-Based Instruments at the local level to support Eco-Industrial Activity. Thesis of Master Degree in Development Economics, Department of Economics, Dalhousie University, Nova Scotia, Canada. 192 p.

Pereira, O. P. (2005) Importância da intervenção pública na economia de Mercado. *Estudios Económicos de Desarrollo Internacional*, Ano/ Vol. 05, n° 001, Facultad de Economías, Santiago de Compostela, Espana. Pp. 117-132

Rabl A, Spadaro V, Desaignes B. (1998) Usefulness of damage cost estimates despite uncertainties: the example of regulations for incinerators. *Environmental risk final report 1 Annex 7*: 14 p.

Romero, C. (1997). *Economía de los Recursos Ambientales y Naturales*. Alianza-Economía, Madrid, 214 pp.

Samuelson, P. A. ; Nordhaus, W. (2005) *Economia*, 18ª edição, Lisboa, ed. Mc graww-Hill, Portugal. 640p.

Seroa da Motta, R. (2000) O uso de instrumentos econômicos na gestão ambiental. IPEA, Brasília, DF. 34 p.

Seroa da Motta, R., Ruitenbeek, J, Huber, R. (1999) Market based instruments for environmental policymaking in Latin America and the Caribbean: lessons from eleven countries, *Journal of Environment and Development Economics*, 4(2).

Seroa da Motta, R. (1991) Recent evolution of environmental management in the Brazilian public sector: issues and recommendations. In: Eröäl, D. (ed.). **Environmental management in developing countries**. Paris: Organization for Economic Cooperation and Development, p.201-221

Souza-Lima, JE. (2004) Economia ambiental, ecológica e marxista *versus* recursos naturais. Rev. FAE, Curitiba, v.7, n.1, p.119-127

Varian, H.R. (1994). Microeconomia. Princípios básicos. 2ªEd., tradução. Rio de Janeiro: Campus. 710 p.

Weydmann, C.L. (2005), Externalidades e mudanças da regulamentação ambiental para a suinocultura norte-americana: e possível no caso Brasileiro? RER, Rio de Janeiro, Vol. 43, nº02, p. 287-305

4. SETOR DE BASE FLORESTAL

O setor de base florestal pode ser conceituado como parte da sociedade relacionada ao uso dos recursos silvestres ou florestais. Ele se relaciona especialmente ao uso da fauna (exceto peixe) e dos recursos da flora, em particular, das florestas naturais ou plantadas. O Brasil possui uma área florestal significativa, seja de nativas ou plantadas. A parte de nativas, susceptível de manejo, é de aproximadamente 450 milhões de hectares, compreendida pelas áreas de Unidades de Conservação da categoria de uso sustentável sob o poder público como as Reservas Extrativistas, as Reservas de Desenvolvimento Sustentável e as Florestas Nacionais, Estaduais e Municipais, e sob a iniciativa privada, as Reserva Legais das Propriedades Rurais e as de Produção das indústrias. A cobertura florestal do território brasileiro, associado às excelentes condições edafo-climáticas para a silvicultura, confere ao País grandes vantagens comparativas para a atividade florestal, (Carvalho *et al*, 2005).

De acordo com Silveira (2001), a madeira como principal matéria-prima utilizada pelo setor florestal, é obtida em grande parte, a partir de plantios homogêneos realizados com espécies de *Pinus* e *Eucalyptus*. A elevada utilização do eucalipto nos reflorestamentos ocorreu pelo seu rápido crescimento e por sua boa adaptação às nossas condições edafo-climáticas.

Em 1990 a área estimada com florestas plantadas no país totalizava cerca de 6 milhões de hectares. Durante a década de 1990 ocorreu uma redução média de 1,5% ao ano passando para 5,1 milhões de ha em 2000. A principal razão da redução da área plantada foi a conversão da terra para outros usos, tais como agricultura e pecuária, com o objetivo de obter maior retorno econômico em curto prazo, apoiado em programas de incentivos do governo federal. Atualmente a silvicultura ocupa cerca de 0,5% do território nacional, com estimados 5,2 milhões de hectares, considerando plantios com pinus e eucalipto, (ABRAF, 2006; Carvalho *et al*, 2005). Juvenal & Mattos (2002) complementa indicando que a maior parte das florestas de eucalipto está situada na região sudeste e no estado da Bahia.

Os cinco principais agentes reflorestadores do Brasil são: indústria de celulose e papel, siderurgia, indústria de produtos sólidos da madeira, governos (fomento através de institutos florestais) e pequenos produtores. Diferentemente da indústria de celulose e papel que é auto-sustentável no abastecimento de madeira, a indústria siderúrgica necessita complementar a

sua demanda com madeira proveniente de florestas nativas, (Couto *et al*, 2000; Bacha & Barros, 2004).

Da área total plantada 28,1% pertencem às empresas de celulose, 19,1% as empresas siderúrgicas e 4,2% pertencem a pequenas propriedades, (Bacha & Barros, 2004).

O Estado de Minas Gerais detém a maior área individual com florestas plantadas compreendendo 1.216.744 ha (sendo 13% com pinus e 87% com eucaliptos). Em seguida vêm os estados de São Paulo, Paraná, Santa Catarina e Bahia, respectivamente com 947 mil ha, 793 mil ha, 588 mil ha, e 582 mil ha, (ABRAF, 2006). E complementando, de acordo com Bacha & Barros (2004), Minas Gerais também detém a maior parte dos plantios com fins energéticos (para produção de carvão vegetal).

De acordo com estimativas do Ministério do Meio Ambiente, considerando as perspectivas de crescimento dos diversos setores consumidores de madeira, a necessidade de reflorestamento anual no Brasil é da ordem de 630 mil hectares, sendo: 80 mil ha/ano para produção de lenha, 130 mil ha/ano para produção de madeira serrada, 250 mil ha/ano para produção de carvão vegetal e 170 mil ha/ano para produção de celulose e papel (Juvenal & Mattos, 2002).

O setor de florestas plantadas se destaca no cenário sócio-econômico do país, pois além da agregação de valor responsável pela geração de renda, contribui significativamente na geração de tributos, divisas e empregos, responsável pelo desenvolvimento sócio-econômico. As atividades de florestas plantadas estão integradas a várias cadeias produtivas, e essa diversificação tem possibilitado um efeito multiplicador no panorama econômico nacional, (ABRAF, 2006).

O PIB florestal representa 4% do nacional com uma geração de U\$ 22 bilhões, dos quais U\$ 4,2 bilhões devidos a siderurgia a carvão vegetal. As exportações somam U\$ 5,4 bilhões (10% das exportações nacionais) e são recolhidos U\$ 2 bilhões em impostos. São gerados 2 milhões de empregos diretos e indiretos (500 mil somente na atividade de reflorestamento – plantações). As florestas energéticas constituem-se em uma importante alternativa econômica, social e ambiental, uma vez que são economicamente sustentáveis, proporcionam geração de trabalho e renda no campo, aumento da arrecadação municipal, melhoria na qualidade de vida

das populações, preservação de áreas naturais em função da própria lei, melhoria da qualidade do solo, ocupação de áreas improdutivas e etc, (Couto *et al*, 2000).

Embora o cenário seja positivo no aspecto de capitais e investimentos, verifica-se que a médio e longo prazo poderão surgir dificuldades. Estudos recentes projetam um déficit de matéria-prima florestal, especialmente de florestas plantadas, refletindo em grande parte pressões sobre as florestas nativas, (Valverde, 2001).

4.1 HISTÓRICO DO DESENVOLVIMENTO DO SETOR FLORESTAL NO BRASIL

A silvicultura teve início no Brasil no início do século passado, com o estabelecimento dos plantios florestais com espécies exóticas para substituição da madeira das florestas nativas de difícil reposição. As principais espécies exóticas foram os eucaliptos, introduzidos pela Companhia Paulista de Estrada de Ferro em 1904, e as coníferas (*Pinus*), pela Companhia Melhoramentos de São Paulo em 1922, (ABRAF, 2006).

A preocupação com a sustentabilidade das florestas, particularmente quanto ao suprimento de madeira para a indústria, levou o Brasil a implementar em meados da década de 70 um programa nacional de incentivos ao reflorestamento. Tal programa tinha como objetivo fomentar o desenvolvimento da indústria de celulose/ papel e siderurgia a carvão vegetal, contemplando o desenvolvimento científico e tecnológico, com a alocação de 1% dos investimentos (Valverde, 2001; Couto & Dubé, 2001; Smith, 1989).

Neste período, a maioria dos esforços foi direcionada no sentido de aumentar a produtividade dos povoamentos, ao mesmo tempo em que não houve nenhuma preocupação com relação aos aspectos ambientais inerentes à prática da silvicultura. Deste modo, muitos projetos florestais não apresentaram os resultados esperados, sendo que muitos ainda, resultaram em experiências negativas, tanto do ponto de vista econômico quanto ambiental. Este fato, levou muito produtor e ambientalista a condenarem a prática da silvicultura, principalmente da monocultura do eucalipto (Couto & Dubé, 2001).

Num primeiro instante, esses reflorestamentos produziram um superávit na oferta de madeira. Mas com o término dos incentivos fiscais em 1988, iniciou-se um descompasso entre a expansão do consumo, com taxas de crescimento anual acentuadas e a expansão de áreas

plantadas com florestas. Uma das principais razões pela qual não ocorreu um aumento das florestas plantadas nos últimos anos, foi exatamente a percepção do mercado da existência desse superávit de madeira, (Valverde, 2001) .

Bacha & Barros (2004), apresentam um diagnóstico da evolução das áreas plantadas no Brasil:

1. 1967 a 1979: neste período ocorreram incentivos fiscais em volume crescente ao reflorestamento ocorrendo grande crescimento da área florestada.
2. 1980 a 1986: os incentivos fiscais foram reduzidos em volume e passaram a serem concedidos preferencialmente para os plantios da área da SUDENE. Isso explica a redução do volume dos plantios no período de 1980 a 1986.
3. 1987 a 1992: esse período apresenta tendência geral de crescimento da área reflorestada anualmente , justamente quando não havia mais incentivos fiscais para essa atividade. Isso demonstra que o término dos incentivos fiscais não representou a paralisação da atividade de reflorestamento. É interessante ressaltar que nesse período a média anual reflorestada foi de 198 mil hectares, a qual foi muito próxima do total médio reflorestado por ano de 1983 a 1986 (204,4 mil hectares, quando ainda havia incentivos fiscais para o reflorestamento).
4. 1993 a 1997: neste período a média anual reflorestada caiu para 159,4 mil hectares
5. a partir de 1998: aumento para uma média de 198 mil hectares, sendo que em 2002 o reflorestamento foi de 231 mil ha e em 2003 239 mil ha. E a previsão de média até o ano de 2009 e em torno de 221 mil ha (pequena queda).

Autores afirmam que há uma necessidade urgente de expansão das florestas plantadas. Mesmo que as florestas sejam de rápido crescimento, os investimentos são de longo prazo. Considerando a contribuição que as florestas plantadas tem a dar ao desenvolvimento sócio-econômico e à manutenção do equilíbrio ambiental, é fundamental que seja desenvolvido um programa específico que estimule a ampliação das áreas plantadas e a garantia de benefícios a sociedade, (Valverde, 2001).

Atualmente o Brasil possui a melhor tecnologia de implantação, condução e exploração de florestas de eucalipto. Pode-se esperar também que o setor contribua para potencializar a balança comercial brasileira, com aumento das exportações de produtos de base florestal, ou

que deles se utilizam, como o ferro-gusa, bem como diminuir as importações de produtos que podem ser substituídos pela madeira, principalmente os energéticos, (Couto *et al*, 2002).

A produção atual esta em cerca de 110 milhões de m³ de madeira oriunda das florestas plantadas, contribuindo assim com 70% do suprimento de madeira para o setor industrial. Além disso, esses maciços florestais constituem-se na principal base de atração de novos investimentos para o setor, mudando consideravelmente o perfil da indústria brasileira de base florestal conseqüentemente a demanda por novos postos de trabalho. A última década foi marcada pela globalização da economia. A redução das distâncias promovida basicamente pelos avanços nas comunicações, os ganhos em logística, competitividade e a capacidade e necessidade das empresas de buscar de novos mercados. Neste sentido foram determinantes nesse processo a competência técnica acumulada e o grau de eficiência da mão-de-obra. O Brasil tem sido atuante no sentido de procurar adaptar sua economia ao processo de globalização, preservando os seus interesses. Dentro dessa estratégia tem liderado algumas iniciativas, como por exemplo, o estabelecimento de um mercado livre regional - MERCOSUL, hoje em processo avançado de consolidação. A internacionalização da economia requer não só ações na política internacional. Em nível nacional é necessário introduzir mecanismos de controle social, como a certificação voluntária em processo de desenvolvimento entre o setor privado e entidades não governamentais. Para que se possa ganhar produtividade e eficiência, e assim, competir no mercado internacional. Este tem sido um dos principais objetivos do planejamento estratégico do setor florestal tanto privado como de governo, (Valverde, 2001).

4.2 CARACTERIZAÇÃO DO SETOR DE BASE FLORESTAL

Carvalho *et al* (2005) apud Polzl *et al*. (2003), cita que o segmento madeireiro do setor florestal organiza-se em duas direções uma longitudinal e outra transversal. Do ponto de vista transversal, distinguem-se os processos sucessivos de transformação que levam a madeira de um estado bruto a um estado considerado como final. Essa sucessão compreende as seguintes atividades: silvicultura, colheita florestal, primeira transformação, segunda transformação, terceira transformação, consumidor final. Ainda segundo os autores, em função do plano longitudinal, pode-se segmentar a cadeia produtiva da madeira em três grandes cadeias, em função das distinções na utilização da madeira bruta. São elas: energia, processamento mecânico e madeira industrial.

De acordo com a ABRAF (2006), os produtos madeireiros envolvem a produção de lenha, carvão vegetal, madeira em tora, produtos de madeira sólida (PMS) e madeira processada como painéis reconstituídos de madeira e compensado. O segmento de painéis reconstituídos envolve a produção de aglomerado, MDF, OSB e chapa de fibra. Os produtos de madeira sólida incluem, entre outros a madeira serrada, madeira imunizada, entre outros. Além dos produtos madeireiros, deve-se considerar a contribuição de produtos florestais não-madeireiros associados a florestas plantadas que incluem, entre outros, resina, mel e óleos essenciais, atividades importantes desenvolvidas, em sua maioria, por agricultores familiares.

Ao se buscar o contraste do setor florestal com os demais setores da economia brasileira, vale ressaltar que as atividades florestais apresentam peculiaridades que as diferencia. Segundo Rezende *et al.* (1986), entre essas características se destacam: o longo prazo, o alto custo econômico para a sua implantação, o problema da escolha da taxa de juros a ser utilizada, a necessidade e, ao mesmo tempo, a dificuldade de obtenção de informações corretas, as várias opções de uso da madeira, a presença de externalidades e de bens públicos, dentre os muitos benefícios produzidos.

Apesar do desenvolvimento econômico do Brasil com base no desenvolvimento da atividade florestal ser uma alternativa de grande viabilidade, pois este se tem apresentado, através das últimas décadas, como instrumento impulsionador do desenvolvimento, o setor florestal (quando comparado a outros setores da economia) ainda é tratado de forma inadequada e injusta. Fato esse que pode ser comprovado por meio dos muitos entraves enfrentados pelo setor, tais como, a excessiva tributação, entraves burocráticos, taxas de juros incompatíveis, a falta de recursos para investimentos, a legislação equivocada, entre outras. Tal cenário impede o aproveitamento pleno das vantagens comparativas inerentes às atividades do setor implicando em limitação da competitividade. Nesse contexto, destaca-se a necessidade de ações coordenadas dos diferentes atores sociais envolvidos, tendo em vista a construção de um novo cenário que propicie condições do pleno desenvolvimento do setor, (Carvalho *et al.*, 2005).

As condições climáticas, a disponibilidade de terras entre outros fatores, favorece o desenvolvimento do setor florestal no Brasil. Com o desenvolvimento tecnológico recente é possível obter rendimentos de aproximadamente 50 m³ de madeira por hectare/ ano. A alta

produtividade e ciclos curtos significam madeira a menor custo e maior competitividade em uma economia globalizada, (Valverde, 2001) .

4.3 BIOMASSA FLORESTAL COMO RECURSO RENOVÁVEL

A valorização da biomassa como insumo energético moderno surgiu na década de 70 com as crises do petróleo (1973 e 1979). Na ocasião, a biomassa passou a ser considerada como alternativa viável para atendimento às demandas por energia térmica e de centrais elétricas de pequeno e médio porte, Couto *et al.*(2000).

E assim desenvolveu-se o conceito de Florestas Energéticas durante a década de 1980, para definir as plantações florestais com grande número de árvores por hectare e, conseqüentemente, de curta rotação, que tinham como finalidade a produção do maior volume de biomassa por área em menor espaço de tempo (Magalhães, 1982).

Entretanto, a partir de 1985, os preços do petróleo voltaram a despencar, diminuindo novamente o interesse em energias alternativas. Mais tarde, na década de 90, a biomassa volta a ganhar destaque no cenário energético mundial devido ao desenvolvimento de tecnologias mais avançadas de transformação, pela ameaça de esgotamento das reservas de combustíveis fósseis e pela incorporação definitiva da temática ambiental nas discussões sobre desenvolvimento sustentável.

Outro fator determinante foi a assinatura do Protocolo de Quioto em 1997, onde ficou estabelecido que os países desenvolvidos deverão promover reduções significativas nas emissões de gases de efeito estufa, indicando que a participação de energias renováveis tenderá a ocupar um lugar de destaque na matriz energética mundial. Dentro desse contexto, o uso da biomassa como insumo para a geração de energia reveste-se de notável importância na busca de alternativas energéticas, tendo em vista que se trata de uma fonte renovável e descentralizada, que promove a geração de empregos no campo e renda adicional. A biomassa florestal possui características tais que permitem a sua utilização como fonte alternativa de energia, seja pela queima direta da madeira, pela sua transformação em combustíveis tais como o carvão vegetal ou o gás de madeira e pelo aproveitamento de resíduos da exploração e do processamento industrial. A biomassa florestal representa, atualmente a terceira fonte de energia da matriz nacional, (Couto *et al.*, 2000; BEN 2006).

Em função de sua plasticidade ambiental, índices altos de produtividade e características energéticas (densidade da madeira e poder calorífico) o gênero *Eucalyptus* é o mais utilizado para a implantação de florestas com fins energéticos. As principais espécies de eucalipto utilizadas são: *Eucalyptus grandis*, *E. urophylla*, *E. urograndis* (híbrido), *E. camaldulensis*, *E. citriodora*, *E. cloeziana*, *E. globulus*, *E. maculata*, *E. paniculata*, *E. pellita*, *E. pilularis*, *E. saligna*, *E. Tereticornis*, (Couto *et al*, 2000).

4.4 EUCALIPTO

O gênero *Eucalyptus* é originário da Austrália e conta com mais de 700 espécies, (Couto *et al*; 2000). E foi introduzido no Brasil, pelo silvicultor brasileiro Edmundo Navarro de Andrade, junto à Companhia Paulista de Estradas de Ferro no estado de São Paulo. O desenvolvimento inicial desta cultura no país, realizou-se entre 1904 e 1909, no horto de Jundiaí, onde Navarro de Andrade comparou várias espécies nativas do Brasil como a peroba, a cabriúva, o jequitibá com espécies exóticas e, entre elas sementes de *Eucalyptus globulus* que ele havia trazido do exterior. Nesses ensaios os eucaliptos sobressaíram em relação às demais espécies, de forma que em 1909 a Companhia Paulista de Estradas de Ferro adquiriu mais terras na região de Rio Claro, iniciando plantios com esta espécie em escala comercial. A partir dessa época, Navarro de Andrade começou a importar sementes de várias espécies de eucaliptos, escolhendo-as de regiões ecologicamente semelhantes da Austrália, e por intermédio principalmente de uma empresa francesa, conseguiu reunir um total de 144 diferentes espécies de eucaliptos. Atualmente, o Serviço Florestal da Austrália já identificou 672 espécies do gênero *Eucalyptus*, mas pouco mais de vinte e cinco espécies têm importância comercial e são plantadas extensivamente em todo o mundo, (ABRAF, 2006).

O segundo passo da cultura do eucalipto foi o estabelecimento, a partir de 1940, de plantações em regiões onde havia mineração de ferro, principalmente na região da Bacia do Rio Doce, como uma alternativa de insumo energético (carvão vegetal) para substituir o coque no processo de beneficiamento do minério de ferro na siderurgia (Chandler, 1998).

Couto *et al* (2000), afirma que o gênero tem sido apontado como uma das melhores opções para a produção de energia, devido, principalmente, ao grande número de espécies, o que possibilita uma ampla distribuição ecológica, favorecendo a sua introdução em várias regiões com diferentes condições edafoclimáticas. Do mesmo modo, a sua produtividade e as

características de sua madeira tornam o gênero *Eucalyptus* uma das melhores alternativas para a produção de biomassa que será destinada à geração de energia.

De acordo com Couto *et al* (2000), a produtividade varia bastante de uma região para outra. Valores de 30 a 40 m³.h/ ano são bastante comuns. No entanto, com o melhoramento genético, a produção de híbridos e a clonagem, podem ser alcançadas valores muito mais expressivos como 60 até 80 m³.ha/ ano.

As principais espécies de eucalipto utilizadas nos reflorestamentos brasileiros, segundo Silveira *et al.* (1995), são *E. grandis*, *E. urophylla* e *E. saligna*. Com a evolução dos programas de melhoramento genético tradicional e da clonagem, atualmente estão sendo utilizados clones híbridos interespecíficos como: *E. grandis* x *E. urophylla* e *E. urophylla* x *E. grandis*. Os materiais genéticos hibridizados apresentam maior “plasticidade” quanto à adaptação aos diferentes sítios florestais e, além disso, são mais produtivos e ou apresentam melhores características da madeira. O ciclo de corte varia em função da utilização da madeira. As indústrias de celulose e papel, as siderúrgicas e as indústrias de chapas de fibra utilizam o ciclo entre 5 e 7 anos, enquanto as indústrias de madeira serrada adotam um ciclo mais longo, variando entre 12 e 20 anos.

Os espaçamentos mais utilizados atualmente, inclusive para energia são aqueles que proporcionam uma área útil variando de 3 a 9 m², (Couto *et al.*, 2002).

Na Tabela 4.1 são apresentadas algumas das principais características físico químicas de cinco espécies de eucalipto aos 10,5 anos de idade.

Tabela 4.1 Características de algumas espécies de eucalipto à idade de 10,5 anos, plantados em espaçamento de 3,0 x 2,0 metros.

Espécies	E. camaldulensis	E. citriodora	E. grandis	E. saligna	E. urophylla
Dens. Básica (g/cm ³)	0,687	0,73	0,479	0,548	0,564
Teor de Lignina (%)	30,6	22,4	23,9	26,3	27,3
Rend. CV (%)	34,7	32,6	33,7	33,7	34,1
Teor de carbono fixo (%)	84,1	81,1	80,7	84,8	82,8
Teor de voláteis (%)	15,4	17,3	18,7	14,7	16,3
Teor de cinzas (%)	0,5	1,6	0,6	0,5	0,9
PCS da madeira (kcal/ kg)	5.085	4.718	4.340	4.633	4.312
PCS do carvão (kcal/ kg)	7.977	8.088	6.626	6.972	7.439

Fonte: Pereira et al. (2005). Onde CV= Carvão vegetal.

4.5 O CARVÃO VEGETAL NO BRASIL

De acordo com Carvalho (2005), a madeira é provavelmente o combustível mais antigo e conhecido do homem, já que o início de sua utilização está diretamente vinculado com o descobrimento do fogo. Nos dias atuais, a utilização da madeira como combustível está normalmente relacionada com os produtos secundários obtidos desta como, por exemplo, o carvão vegetal e a lenha. No Brasil, a madeira é usada amplamente como fonte de energia, sendo o País um dos maiores produtores de carvão vegetal e de lenha do mundo.

Desde a introdução da siderurgia no Brasil, em meados do século XIX, a exploração florestal de matas nativas (Mata Atlântica, Cerrados e Caatinga) tem-se destinado, de modo geral, à produção de lenha industrial e carvão vegetal para uso siderúrgico e consumo doméstico. O destaque do carvão vegetal como recurso energético ocorre em vários setores industriais do país, como os de cimento, cerâmica e carburetos. Mas na indústria siderúrgica nacional, em que é usado como termo redutor do minério de ferro para produção de ferro gusa, ele responde por 40% da produção nacional. Esse número tende a passar por um período de ajuste, dada à necessidade das indústrias se tornarem auto-suficientes, (Brito, 1990; Vital *et al*, (1994); Coelho Junior, 2006).

A siderurgia nacional também utiliza o coque mineral, insumo substituto, como termo redutor. Contudo o carvão mineral brasileiro é encontrado em baixa quantidade e possui baixa qualidade (alto teor de cinzas), e por isso utiliza-se o coque importado, (Paula, 1992; Soares *et al*, 2004; Bacha & Barros, 2004).

O carvão vegetal permite um produto de melhor qualidade do que o obtido com carvão mineral. No entanto o carvão vegetal só pode ser usado em fornos pequenos e médios. Em grandes fornos, apenas o carvão mineral pode ser usado (Ackerman & Almeida, 1990).

Brito (1990), considera que o uso do carvão vegetal é um processo irreversível no atendimento da demanda por insumos energéticos e redutores do segmento industrial brasileiro. São fortes os elementos de ordem técnica, associados à total possibilidade de se alcançar a auto-suficiência e independência de suprimento do insumo. Além disso, há elementos de ordem econômica, não só em termos de custos, mas principalmente pelas características de qualidade dos produtos obtidos. No entanto, é evidente que a expressividade dos números envolvidos na produção e consumo de carvão vegetal refletem-se por sua vez em outros problemas.

A opção pela produção de carvão vegetal utilizando florestas homogêneas de alto rendimento com espécies exóticas do gênero *Eucalyptus*, em meados da década de 60, contou com vultosos aportes de incentivos fiscais do governo federal e a obrigatoriedade legal (Código Florestal) das siderúrgicas passarem a ser auto-sustentáveis, adequando-se a um novo perfil da indústria de base florestal, (Coelho Junior *et al*, 2006 b). Ressaltando-se que a preferência pelo eucalipto foi em função de sua maior densidade em relação a madeira de pinus (Bacha & Barros, 2004).

Para garantir o suprimento, as empresas vêm estabelecendo reflorestamentos em varias regiões do país. A matéria prima é também fornecida por pequenos produtores ou carvoeiros independentes (Silva & Silva, 1996; Soares *et al*, 2004; Coelho Junior *et al*, 2006a).

A maioria dos plantios para produção de carvão vegetal é feita no estado de Minas Gerais. Esses plantios, no entanto apresentam diferentes produtividades de acordo com a região do estado em que são realizados (Bacha & Barros, 2004).

A produção nacional de carvão vegetal, considerando-se a variação de estoques, perdas e ajustes é aproximadamente equivalente ao consumo, haja vista que as exportações e as importações são praticamente inexpressivas e quase se equivalem, (Fontes *et al*, 2005). De acordo com a AMS (2005), em 2001 a exportação foi de 9.338 t, ou seja, 0,45% da produção.

As empresas siderúrgicas ao contrario das empresas de celulose ainda dependem de matéria prima oriunda de florestas plantadas e de florestas nativas. Pois os plantios das empresas siderúrgicas não são capazes, em regime sustentável de atender a demanda por carvão vegetal oriundo de florestas plantadas. Por exemplo, do estoque de área plantada das empresas siderúrgicas em 2000 (950 mil hectares), pode-se ter uma produção sustentável anual de 23,75 milhões de metro cúbico de madeira. Considerando a conversão de 1,77m³ de madeira para um m³ de carvão (relação existente em 1999 quando se usou 33,4 milhões de m³ de madeira para produzir 18,83 milhões de metro cúbico de carvão), tem-se que essa quantidade de madeira seria capaz de produzir 13,42 milhões de m³ de carvão. Mas só o setor siderúrgico consumiu 16 milhões de metros cúbicos de carvão em 2000. Por tanto o setor siderúrgico, caso não expanda o seu estoque de área plantada, será dependente da compra de carvão vegetal oriundo de reflorestamento no mercado. E caso esse não esteja disponível, haverá maior pressão sobre as florestas nativas para produção de carvão vegetal, (Bacha & Barros, 2004).

Os valores da atual razão entre madeira com origem em floresta plantada ou floresta nativa são conflitantes. Fontes *et al* (2005) cita que a maior parcela de carvão vegetal produzida e consumida no país provem de florestas plantadas, 74% contra 26% de florestas nativas. De outro lado o anuário estatístico da “Associação Mineira de Silvicultura – AMS” de 2005, para o ano base de 2004 indica uma relação de consumo de carvão vegetal na ordem de 52,2% para o carvão com origem de floresta nativa e 47,8% de floresta plantada.

As empresas siderúrgicas deveriam plantar 45mil hectares/ ano para a manutenção do atual estoque de 950 mil hectares , (Bacha e Barros, 2004). Na Tabela 2, é apresentada a distribuição de consumo por estado de acordo com a AMS (2005):

Tabela 4.2 Consumo de carvão vegetal por estado no Brasil no período de 1999 – 2004 em m³ *10³.

ESTADOS	1999		2000		2001		2002		2003		2004	
	Cons.	%	Cons.	%	Cons.	%	Cons.	%	Cons.	%	Cons.	%
MG	16500	61,3	15880	62,5	17120	65,3	17214	64,2	19470	66,7	24420	66,1
SP	825	3,1	800	3,2	760	2,9	890	3,3	890	3,0	890	2,4
RJ	781	2,9	540	2,1	365	1,4	333	1,2	402	1,4	428	1,2
ES	847	3,1	1150	4,5	1100	4,2	1092	4,1	1300	4,5	1400	3,8
BA	902	3,6	650	2,6	470	1,8	613	2,3	630	2,2	762	2,0
MS	275	1,0	440	1,7	315	1,2	328	1,2	340	1,2	580	1,6
MA/PA	4400	16,4	4000	15,8	5000	19,1	5650	21,1	5470	18,7	7150	19,4
Outros	2370	8,7	1940	7,6	1090	4,1	700	2,6	700	2,4	1290	3,5
Total	26900	100	25400	100	26220	100	26820	100	29202	100	36920	100

Fonte: AMS 2005.

Segundo Coutinho & Ferraz (1988), a utilização de carvão vegetal na siderurgia, de modo geral, tem como consequência uma série de vantagens para o país, destacando-se, entre outras, as seguintes: a) é uma fonte energética renovável; b) é uma alternativa para o país, que possui redutor fóssil de má qualidade; c) leva à economia de recursos pela não importação de redutor fóssil e uso de tecnologia totalmente nacional; d) promove a ocupação de extensas áreas de terra disponíveis e impróprias para outras culturas; e) cria grande número de empregos diretos e indiretos. E de acordo com Coelho Junior et al (2006a), a indústria siderúrgica brasileira depende crucialmente do carvão vegetal, em busca de eficiência energética, por causa da iminente escassez futura do petróleo.

Nos últimos anos a redução observada no consumo total de carvão vegetal, deve estar relacionada a queda no preço do petróleo e do coque (combustíveis fósseis) no mercado internacional, (Silveira, 2001; Coelho Junior et al, 2006a). Paralelamente, tem havido enorme pressão da sociedade para que se reduza o uso do carvão vegetal oriundo de florestas nativas (Coelho Junior *et al*, 2006a).

4.6 O CARVÃO VEGETAL NO ESTADO DE MINAS GERAIS

A história econômica mineira se confunde com a história econômica brasileira ao longo dos séculos, até a inserção do Estado no processo de industrialização nacional, ocorrendo um crescimento econômico desarticulado e descontínuo. A economia mineira, ao longo do século

XX, se destaca com a indústria siderúrgica na qual integrou suas microrregiões, estimulada pelos mercados de carvão vegetal que contribui para a importância das indústrias de bases florestais no contexto nacional (Coelho Junior *et al*, 2005).

A produção de ferro-gusa a carvão vegetal no Estado de Minas Gerais foi de suma importância para o desenvolvimento da economia regional. As principais plantas industriais estão localizadas em: Santos Dumont, Belo Horizonte, Sete Lagoas, Divinópolis e Pirapora. No entanto, a localização se relaciona a vários fatores como: fonte dos recursos naturais (minério de ferro), eficiência energética, escoamento da produção e mercado (Coelho Junior *et al*, 2005).

O estado de Minas Gerais destaca-se no cenário nacional, como o maior produtor e consumidor de carvão vegetal em razão do seu parque siderúrgico, tendo consumido em 2003, cerca de 67% da demanda nacional, (Fontes *et al*, 2005).

O consumo de carvão vegetal, em Minas Gerais, se dá basicamente na produção de ferro gusa, ferro-liga e cimento, ou seja, é voltado para a construção civil. Mas a maior parte do carvão vegetal, 93,8% segundo AMS (2005) é consumido nas indústrias siderúrgicas a ferro-gusa, na qual participa com cerca de 70% do preço da tonelada de gusa (Coelho Junior *et al*, 2005).

O consumo de carvão vegetal não é homogeneamente distribuído entre as regiões consumidoras de Minas Gerais. O custo de transporte, a localização e outros fatores específicos diferenciam os preços em cada região. Assim, as diferenças de preços entre regiões estão atreladas às distâncias em que o carvão vegetal produzido está de sua fonte consumidora, ou seja, do parque industrial (Coelho Junior *et al*, 2005). Os principais mercados consumidores em Minas Gerais localizam-se nas regiões de Sete Lagoas, Belo Horizonte, Divinópolis, Vertentes, João Monlevade, Rio Piracicaba, Rio Doce, Santos Dumont, Pirapora, Montes Claros e Ouro Preto, (Fontes *et al*, 2005).

O conhecimento das relações entre oferta e demanda de carvão vegetal e suas variações de preços fornecem elementos importantes para a previsão do comportamento futuro do mercado, (Coelho Junior *et al*, 2005).

4.7 ANÁLISE ECONOMICA DO MERCADO DE CARVÃO VEGETAL EM MINAS GERAIS

De acordo com Carvalho (2005), apesar da redução do consumo nos últimos anos, o carvão vegetal ainda possui uma posição de grande importância na economia brasileira, em especial para Minas Gerais, principal estado produtor e consumidor, onde ocupa posição de destaque no setor siderúrgico, no qual contribui para a produção de ferro-gusa, aço e ferro-liga. Além da indústria siderúrgica, o carvão vegetal também participa como substituto do óleo combustível nas caldeiras e nos fornos de combustão da indústria de cimento e de materiais primários

O preço do carvão vegetal é formado num mercado oligopsônico-competitivo, constituindo uma concorrência imperfeita. Do lado da demanda, há poucas siderúrgicas e do lado da oferta há muitos produtores independentes (competitivos). As siderúrgicas a carvão vegetal podem ser divididas em dois segmentos: as usinas integradas e as usinas independentes. As siderúrgicas integradas, por possuírem reflorestamentos próprios, dependem menos dos preços de mercado, comparativamente às siderúrgicas independentes, que usam tanto o carvão vegetal plantado - CVP quanto o carvão vegetal nativo - CVN. As séries dos preços do carvão vegetal plantado - CVP e do carvão vegetal nativo - CVN se comportam de maneira distinta, indicando mercados diferenciados. Um fator importante para essa diferença foi o fato de que no final do século XX, sob pressão dos produtores independentes de carvão vegetal oriundo de floresta plantada e associações, o carvão vegetal nativo já não tinha tanta representatividade, correspondendo a 30% do consumo total em 1999, o que veio a forçar uma diferenciação nos preços, (Coelho Junior *et al*, 2006 b).

Os custos de produção do carvão de floresta nativa e do carvão de floresta plantada são diferentes. A floresta nativa (cerrado, mata atlântica, caatinga) não possui custo de implantação, há apenas os custos de exploração da mesma para a produção do carvão, que se realiza sob a ótica extrativista. No segundo momento, quando há práticas de manejo, o custo existente refere-se à seleção de espécies nativas a serem utilizadas para produção do carvão vegetal. Já as florestas plantadas possuem custo de implantação, custo de manutenção e custo de exploração, o que onera os custos finais para a produção do carvão vegetal (Rezende *et al.*, 1986).

Como fatores que influenciam o preço do carvão vegetal plantado, observa-se a produtividade por hectare plantado, a redução na relação metro cúbico de carvão por tonelada gusa e aumento na densidade do carvão, gerando diminuição nos custos de produção do gusa e no consumo de carvão vegetal, (Paula, 1992).

Desta forma verifica-se que existem várias oscilações de preço ao longo das três últimas décadas, sendo os preços do CVP superiores aos preços do CVN, devido ao CVP ser um produto de melhor qualidade em função de suas características físicas e químicas, (Coelho Junior *et al*, 2006 b).

A quantidade produzida e consumida de carvão vegetal no Brasil, foi crescente até a década de 1980 e declinante na década de 1990 e a partir do ano de 1995, começou a ocorrer reduções na quantidade produzida de ferro gusa. Em 1994, com o plano real a taxa de câmbio apresentou-se sobrevalorizada passando por graduais desvalorizações controladas pelo Banco Central até 1999, (Paiva, 2001).

O aumento na demanda de carvão vegetal no início da década de 1980, ocorreu devido a expansão da indústria de cerâmica e cimento e a área plantada com o gênero *Eucalyptus* foi aumentando ainda sob influencia dos incentivos fiscais até o término em 1988. As crises políticas do petróleo, as crises econômicas e as políticas econômicas influenciaram a busca de fontes substitutas de energia (Coelho Junior *et al*, 2006a).

Como fator de influencia da queda dos preços do carvão vegetal nos anos de 1980 considera-se o progresso tecnológico do setor florestal, através do aumento na produtividade volumétrica por hectare e diminuição nos custos de produção ao longo do tempo (Coelho Junior *et al*, 2006a).

A indústria siderúrgica brasileira teve grande processo de reestruturação na década de 90, por conta do programa de privatização implementado pelos governos federal e estaduais e do processo de liberalização econômica da economia brasileira. O programa de privatização e a liberalização econômica levaram a uma reestruturação do setor siderúrgico, com a formação de grandes grupos privados. Nesse processo adotou-se a tendência mundial de aumento da escala de produção em cada planta industrial. Como o carvão vegetal não pode ser usado em

grandes fornos, houve a mudança tecnológica onde se usa mais fornos a carvão mineral do que fornos a carvão vegetal na produção do aço. O coque mineral também foi favorecido no período de 94 a 97 devido a valorização cambial do real frente ao dólar. A partir de 1999, com a forte desvalorização cambial, começou a surgir maior incentivo ao uso de carvão vegetal. Especialmente por parte dos “guseiros”, os quais tem suas produções utilizadas na transformação em aço por empresas que usam coque mineral, (Andrade *et al*, 1999, Bacha & Barros, 2004).

Entre 1991 e 1999, as empresas siderúrgicas diminuíram a quantidade de florestas plantadas anualmente. Isso se deve ao maior dinamismo do segmento siderúrgico a carvão mineral em relação ao baseado em carvão vegetal. Mas a partir de 2000 ha significativa recuperação das áreas plantadas por empresas siderúrgicas, (Bacha & Barros, 2004).

A sobrevalorização da taxa de câmbio torna as exportações menos atrativas. Sendo assim, a redução na quantidade produzida de ferro gusa pode ser explicada pela queda das exportações brasileiras deste produto. Por outro lado, a sobrevalorização da taxa de câmbio contribui para o aumento da demanda de produtos importados. Como o coque e o carvão vegetal são produtos substitutos na siderurgia, começou a ocorrer aumento na demanda de coque que teria ficado relativamente mais barato e com isso, ocorreram reduções no consumo e na produção de carvão vegetal, o que contribuiu para o aumento do preço do carvão vegetal, (Soares *et al*, 2004).

A partir do século XXI, aparentemente uma nova tendência se estabelece, na qual o aumento real dos preços também se estabeleceu. Com o aumento do preço da madeira, pressionado pelos múltiplos usos, os custos de produção de carvão tendem a aumentar (Coelho Junior *et al*, 2006a).

Assim, o preço do carvão vegetal tem uma relação inversa entre preço e quantidade demandada. Ou seja, se o preço do carvão vegetal sobe a demanda diminui. Essa relação é função da possibilidade de substituição direta por coque mineral importado. A relação entre quantidade de ferro gusa produzido e a demanda de carvão vegetal é direta. Verifica-se contudo que a demanda por carvão vegetal é mais sensível a variações na quantidade produzida de ferro gusa do que as variações no preço do carvão vegetal, Soares *et al* (2004).

A demanda por carvão vegetal é inelástica em relação ao preço do produto, ou seja, ela é pouco sensível as variações no preço. Já a oferta de carvão vegetal é elástica em relação ao preço. E assim, quando ocorre aumento da taxa de juros, os produtores antecipam o corte do povoamento aumentando assim a oferta de carvão vegetal no mercado em curto prazo, (Soares *et al* , 2004).

A baixa “elasticidade-preço” da oferta de carvão vegetal pode ser reflexo do baixo nível tecnológico utilizado no processo de carvoejamento e a falta de exploração alternativa para os empreendedores que se dedicam a essa atividade, (Amâncio *et al*, 1983).

O preço, a quantidade produzida de ferro gusa e o produto interno bruto per capita são as variáveis relevantes para explicar as variações na demanda de carvão vegetal, (Soares *et al*, 2004).

4.8 PRODUÇÃO DE CARVÃO VEGETAL

A produção de carvão é uma atividade milenar, obtendo alguns avanços tecnológicos nas últimas décadas, mas que ainda guarda um certo grau de primitivismo (Valente, 1986).

Existem algumas características técnicas (físicas e químicas) que podem diferenciar tanto a qualidade quanto os preços entre o carvão oriundo de florestas nativas e de floresta plantada. A floresta nativa consiste num conjunto de espécies que produz carvão vegetal de qualidade variada. Já o carvão oriundo de floresta plantada é homogêneo, proporcionando qualidade melhor e maior preço, (Coelho Junior *et al*, 2006 b).

De acordo com Nogueira *et al*. (2000) a utilização da energia da biomassa representa a “fotossíntese inversa”, pois se busca resgatar a energia solar armazenada no vegetal, consumindo o oxigênio atmosférico e restituindo ao ar o dióxido de carbono.

No que diz respeito à origem da matéria-prima da produção de carvão vegetal, verifica-se uma tendência de substituição da madeira oriunda de florestas nativas pelas de reflorestamento. Apesar de sua importância no contexto industrial brasileiro, verifica-se que o aumento da eficiência nos elos da cadeia produtiva do carvão vegetal ainda se encontra bastante incipiente no País. Parte significativa do carvão vegetal é obtida com o emprego de técnicas bastante rudimentares, mão-de-obra pouco qualificada e pequena alocação de recursos. No Brasil, a

tecnologia adotada por grande parte dos produtores de carvão vegetal ainda é carente de novos processos. Produz-se de forma rudimentar em fornos de argila (tijolos) cuja construção exige um baixo nível de investimento. Não-raras vezes, a atividade de carvoejamento tem sido associada com condições desumanas de trabalho, (Carvalho *et al*, 2005).

De acordo com Carvalho *et al* (2005), o transporte desse carvão, geralmente produzido à beira ou no interior das florestas, até as unidades consumidoras (siderúrgicas) se faz através de caminhões comuns, algumas vezes equipados com “gaiolas”, não havendo, assim, investimento em equipamentos específicos para essa finalidade. Seu mercado é considerado desorganizado. Neste contexto, vale destacar a existência do esforço de diferentes atores sociais (empresas, universidades, órgãos públicos) tendo em vista modificar esta realidade, e no seu lugar surgir, uma indústria limpa, sustentável e renovável, geradora de empregos dignos e de divisas para o país. As principais características dessa indústria são as seguintes:

- Poucas empresas grandes e um significativo percentual de pequenas e médias unidades de produção.
- Possuem localização geográfica bastante descentralizada.
- São voltadas para o mercado interno (fechadas).
- Apresentam poucas restrições quanto à matéria prima (em geral valoriza madeira mais densa).
- Não são tecnificadas.
- Investimentos muito baixos.
- São de mão-de-obra intensiva; (grande geração de empregos diretos em relação aos investimentos).
- – Baixo grau de verticalização (as produtoras de ferro guza em geral não têm interesse em investir em florestas próprias).
- – Possuem um baixíssimo grau de profissionalização.

4.9 ASPECTOS TÉCNICOS DO PROCESSO DE PIRÓLISE DA MADEIRA

O carvão vegetal é obtido na pirólise mediante a ação do calor que elimina a maior parte os componentes voláteis da madeira. Por isso o nome que muitas vezes se dá ao processo de “destilação seca da madeira”. Durante o processo ocorre uma concentração de carbono no carvão vegetal. E daí outro termo usado para a identificação do processo que é a

“carbonização da madeira”. Essa concentração de Carbono ocorre graças a eliminação da maior parte do Hidrogênio e Oxigênio da madeira, (Brito, 1990).

Andrade (1999) salienta que, durante a conversão da madeira a carvão vegetal, ocorre, além da concentração de carbono, uma série de fenômenos físicos e químicos, que resultam num resíduo sólido carbonoso (carvão) e numa fração gasosa. Uma parte dessa fração gasosa pode ser condensada, permitindo a obtenção do chamado líquido pirolenhoso, e a outra parte resulta em gases não-condensáveis em parte inflamáveis, a exemplo do CO, H₂, CH₄, C₂H₆, dentre outros. O líquido pirolenhoso é constituído por água e por compostos químicos como os ácidos acético e fórmico, o éter, os álcoois metílico e etílico, a acetona, o alcatrão, dentre outros.

De acordo com pesquisas desenvolvidas pelo projeto INFOTEC/ PRÓ-CARVÃO (2000), quando diluído em água e ou urina bovina, o líquido pirolenhoso encontra uma vasta aplicação no campo das culturas orgânica e convencional. O alcatrão, em virtude da sua composição, constituída basicamente por compostos fenólicos, creosoto e piche, pode ser utilizado como combustível, preservativo de madeira ou, ainda, como uma importante matéria-prima nas indústrias química e farmacêutica.

A ação do calor sobre a madeira, que é um material predominantemente orgânico, implica na sua total degradação. E como consequência ocorre o surgimento de uma pequena fração residual que é denominada de “cinzas”, e que corresponde aos elementos minerais quantitativamente minoritários originalmente presentes na madeira. Este fenômeno é denominado genericamente de “pirólise” ou “termodegradação” da madeira. Na Tabela 4.3 são apresentadas as fases da pirólise da madeira, (Brito, 1990).

Tabela 4.3: Fases do fenômeno de conversão da madeira para carvão vegetal.

FASE	TEMPERATURA (°C)	FENÔMENOS E PRODUTOS
I	até 200	- poucas reações importantes - perda de umidade - fase endotérmica
II	200 até 270-280	- aumento de reação e na eliminação de gases - a madeira passa para a cor marrom arroxeadada - fase endotérmica
III	280 até 250 – 380	- importante fase de reações e grande eliminação de gases - composição de gases: centena de componentes químicos orgânicos (alguns recuperáveis) Ex: Acido Acético, Metanol, Acetona, Fenóis, Aldeídos, Hidrocarbonetos, Alcatrões, etc. - o resíduo final dessa fase já é o carvão vegetal, mas que ainda apresenta compostos volatizáveis em sua estrutura - fase exotérmica
IV	380-500	- redução da saída de gases - o carvão vegetal passa a sofrer uma purificação na sua composição química com a eliminação do restante dos gases voláteis contendo H e O. O carvão torna-se mais rico em carbono em sua estrutura (carbono não volatizável ou carbono fixo) - fase exotérmica
V	Acima de 500	- degradação do carvão - término da carbonização e início da gaseificação do carvão - fase exotérmica

Convém mencionar que após o carvão ter sido produzido na Fase III, a passagem para as fases seguintes, onde ocorrem temperaturas mais elevadas, fatalmente reduzirá o rendimento do produto. Além disso haverá redução de sua resistência físico-mecânica, em que pese o aumento no seu teor de carbono fixo, (Brito, 1990).

A madeira para produção do carvão vegetal tem que ter algumas características desejáveis como forma, dimensões, umidade, densidade, homogeneidade e teor de carbono fixo, para se obter bons rendimentos em carvão vegetal (Valente, 1986).

Dentre os índices que caracterizam a qualidade da madeira destaca-se a densidade básica, por ela estar intimamente relacionada com as demais propriedades (Brasil & Ferreira, 1979).

Segundo Vale *et al.* (2002), as densidades básicas da lenha das espécies do cerrado variam de 0,20 g/cm³ a 0,78 g/cm³. A madeira de *Eucalyptus grandis* apresenta densidade de 0,438

g/cm³, aos sete anos, e representa grande parte das plantações utilizadas em Minas Gerais, Brito *et al.* 1984.

Além da densidade, a constituição química é outra importante característica com influência direta na produção e qualidade do carvão vegetal (Collet, 1955).

De acordo com Klock *et al* (2005) os principais elementos existentes são o Carbono (C), o Hidrogênio (H), o Oxigênio (O) e o Nitrogênio (N), este em pequenas quantidades. A análise da composição química elementar da madeira de diversas espécies, coníferas e folhosas, demonstram a seguinte composição percentual, em relação ao peso seco da madeira como demonstrado na Tabela 4.4.

Tabela 4.4: Composição percentual de coníferas e folhosas em relação ao peso seco da madeira.

Elemento	Porcentagem
C	49-50
H	6
O	44-45

Além destes elementos encontram-se pequenas quantidades de Cálcio (Ca), Potássio (K), Magnésio (Mg) e outros, constituindo as substâncias minerais existentes na madeira.

Do ponto de vista da análise dos componentes da madeira, uma distinção precisa ser feita entre os principais componentes macromoleculares constituintes da parede celular:

- Celulose
- Polioses (hemiceluloses),
- Lignina,

As quais estão presentes em todas as madeiras, e os componentes minoritários de baixo peso molecular, extrativos e substâncias minerais, os quais são geralmente mais relacionados a madeira de certas espécies, no tipo e quantidade. As proporções e composição química da lignina e polioses diferem em coníferas e folhosas, enquanto que a celulose é um componente uniforme da madeira, (Klock *et al*, 2005).

O rendimento gravimétrico em carvão se relaciona positivamente com o teor de lignina na madeira. Alguns estudos têm mostrado correlações positivas entre o teor de lignina e o teor de carbono fixo do carvão e correlações negativas com teores de voláteis e teores de cinza (Martins, 1980).

O teor de cinzas é a relação entre a quantidade de cinzas e a quantidade de carvão que lhe deu origem, estando correlacionado com a constituição química da madeira. A quantidade de cinzas é maior no carvão vegetal de origem nativa devido à variabilidade de espécies. As espécies menos densas, bem como lenha de menor diâmetro, carbonizam-se mais rapidamente, portanto produzem maior quantidade de cinzas, (Coelho Junior *et al*, 2006 b) .

Quanto maior a proporção de minerais na madeira, maior será a porcentagem de cinza no carvão, fato este pouco desejável, principalmente quando se sabe que alguns dos componentes minerais são prejudiciais a determinados fins siderúrgicos, (Vital *et al*, 1994).

Dentro de certos limites, para uma mesma matéria-prima, os maiores teores de voláteis correspondem os menores rendimentos gravimétricos em carvão. Isso ocorre em consequência da permanência, na constituição do carvão vegetal, de certos componentes químicos que resultariam em voláteis que estariam presentes na fumaça, (Santiago & Andrade, 2005).

As variações nos rendimentos gravimétricos em carvão são oriundos da significativa diferença entre as massas específicas aparentes dos materiais carbonizados, (Santiago & Andrade, 2005).

Como última característica importante sobre a qualidade do carvão deve ser citado o poder calorífico da madeira. De acordo com Ferreira (2000), o método de medição do poder calorífico baseia-se, no balanço de energia, na combustão completa da amostra, em geral com oxigênio puro, a volume constante, e na transferência de calor para a água do calorímetro. A diferenciação entre o poder calorífico superior (PCS) e o inferior (PCI) resultam da consideração do estado final da mistura de gases de combustão e do vapor d'água que se forma na queima de substâncias hidrogenadas. Se o estado de equilíbrio térmico dos produtos da combustão com a água do calorímetro ocorre sem a condensação do vapor d'água, o poder calorífico medido é o inferior; se o vapor se condensa e a mistura é resfriada à temperatura inicial (geralmente a do ambiente, tomada como 25°C), maior quantidade de calor é cedida ao

calorímetro e o resultado é o poder calorífico superior. A equação que relaciona os dois poderes caloríficos é:

$$PCS = PCI + m(c \Delta T + L), \quad (1)$$

Sendo “m” a massa da água de combustão, “ ΔT ” a diferença de temperatura entre o ambiente e a temperatura de equilíbrio antes da condensação e “L” o calor latente de condensação do vapor d’água. O valor médio do PCS é 4.510 ± 220 kcal/ kg.

4.9.1 Características da pirólise de madeira de eucalipto

Santiago & Andrade (2005), apresentam os valores médios dos rendimentos gravimétricos em carvão, em gases condensáveis e em gases não condensáveis, com base nas massas dos respectivos materiais vegetais oriundos de eucalipto, carbonizados às temperaturas máximas de 400 °C e de 600 °C, e estes estão apresentados na Tabela 4.4.

Tabela 4.5: Valores médios dos rendimentos gravimétricos em carvão (RGR), em gases condensáveis (RGC) e em gases não-condensáveis (GNC), obtidos da carbonização do lenho de *Eucalyptus urophylla* e dos resíduos de serraria, às temperaturas máximas de 400 °C e de 600 °C.

Material carbonizado	Rendimento (%) 400 °C			Rendimento (%) 600 °C		
	RGR	RGC	GNC	RGR	RGC	GNC
Lenho de <i>E. urophylla</i>	26,91	47,37	25,72	24,30	46,41	28,29
Lascas <i>Eucalyptus</i> spp.	33,85	41,11	25,05	30,32	40,76	28,92
Cascas de <i>Eucalyptus</i> spp.	29,89	43,53	26,58	26,58	43,62	29,80
Maravalhas de <i>E. spp.</i>	30,06	43,09	26,85	26,03	41,55	32,42

4.10 ASPECTOS TÉCNICOS DA PRODUÇÃO DE CARVAO EM ESCALA

Para a produção de carvão vegetal é necessária a aplicação de calor sobre a madeira em quantidade suficientemente controlada para que ocorra apenas a sua degradação parcial. Evidentemente, é nesse princípio que se encontram baseados todos os processos práticos destinados a tal produção. As variações mais importantes que podem existir ficam por conta do dimensionamento do tamanho e capacidade de produção dos equipamentos, materiais

construtivos, níveis de controle de processo e origem do calor necessário para o aquecimento da carga de madeira a ser convertida em carvão, (Brito, 1990).

Particularmente, no que diz respeito à origem do calor para o processo, é bastante usual classificar-se o sistema de produção de carvão vegetal em, (Brito, 1990):

- a) Sistemas com fonte interna de calor ou por combustão parcial – onde o calor é fornecido mediante a combustão de parte da carga destinada para carbonização. Neste caso, cerca de 10 a 20% do peso da carga de madeira é “sacrificada” mediante combustão total, gerando o calor necessário ao processo.
- b) Sistemas com fonte externa de calor - o calor é fornecido a partir de uma fonte externa (aquecimento elétrico introdução de calor na carga pela queima externa de combustíveis sólidos, líquidos ou gasosos). Neste caso não há a queima de uma parte da carga para a geração de calor necessário ao processo. Toda a madeira é teoricamente convertida em carvão vegetal, o que resulta num maior rendimento do processo.

Os processos com fonte interna de calor caracterizam-se por serem predominantemente artesanais, e são os mais amplamente difundidos em países do terceiro mundo. A quase que totalidade das 10 milhões de toneladas anuais de carvão vegetal produzidas no Brasil (maior produtor mundial, respondendo por cerca de 30% do total) é obtida através desses processos. O princípio básico de tais processos é a colocação da carga no interior de um invólucro denominado de “forno” (geralmente construído em alvenaria, chapa metálica ou com a mistura de ambos), a colocação de fogo e queima controlada de parte da carga de madeira. A queima é realizada mediante a admissão controlada de ar no interior da carga, o qual fornece o Oxigênio necessário ao recesso. Os gases resultantes normalmente são removidos através de urna ou varias chaminés. Os rendimentos gravimétricos desses processos para a obtenção de um bom carvão, em geral, não ultrapassam 40%. Como consequência 60% do peso de uma carga de madeira a ser processada transforma-se em gases, (Brito, 1990).

Existem dezenas de possibilidades construtivas para os fornos com sistemas por combustão parcial. Ocorre que, no geral, por razões econômicas e pela relativa facilidade para encontrar-se pessoal experiente para a construção e produção do carvão em tais equipamentos, os fornos de alvenaria têm sido o mais amplamente utilizado em nosso país, (Brito, 1990).

4.10.1 Forno “meia-laranja” ou “rabo-quente”

A Figura 4.2 apresenta um desenho desse modelo de forno construído com tijolos, geralmente sem chaminé, e com uma porta. A sua capacidade volumétrica efetiva pode variar desde 9 m³ (mais usual no Brasil), até 50 m³ de madeira . O diâmetro de sua base pode ser de 3 a 7 m e sua altura total de 3.50 a 3.70 m. Devido a sua forma semi-esférica, em geral, utiliza-se madeira com comprimento máximo girando entre 1.20 e 1.30 m para uma melhor ocupação interna do volume do forno.

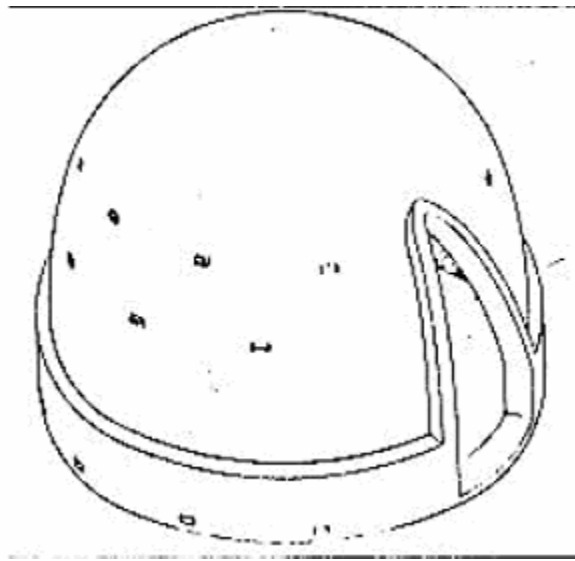


Figura 4.2: Forno meia laranja ou rabo quente.

Fonte: Fundação Centro Tecnológico de Minas Gerais (1982)

4.10.2 Processos com fonte externa de calor

Existem possibilidades da construção de fornos segundo os modelos anteriormente citados, mas que podem operar com calor originário de uma fonte externa. Um exemplo dessa possibilidade é a adaptação que é feita no forno do tipo colméia, com a colocação de uma câmara externa de geração de calor. As Figuras 4.3 e 4.4 apresentam desenhos desse tipo de forno. Nesse tipo de forno o calor é admitido na carga através de gases quentes gerados na fornalha, obtidos da queima de madeira ou resíduos florestais não aproveitáveis para transformação em carvão vegetal. Quando se faz a queima de madeira propriamente dita, o consumo da mesma é menor que o observado no processo com fonte interna de calor. A carbonização é conduzida mediante o controle da combustão na câmara, não havendo

necessidade de orifícios no corpo do forno para a entrada de ar.. Os gases são expelidos pela chaminé, e o volume e coloração dos mesmos são auxiliares para a operação do forno.

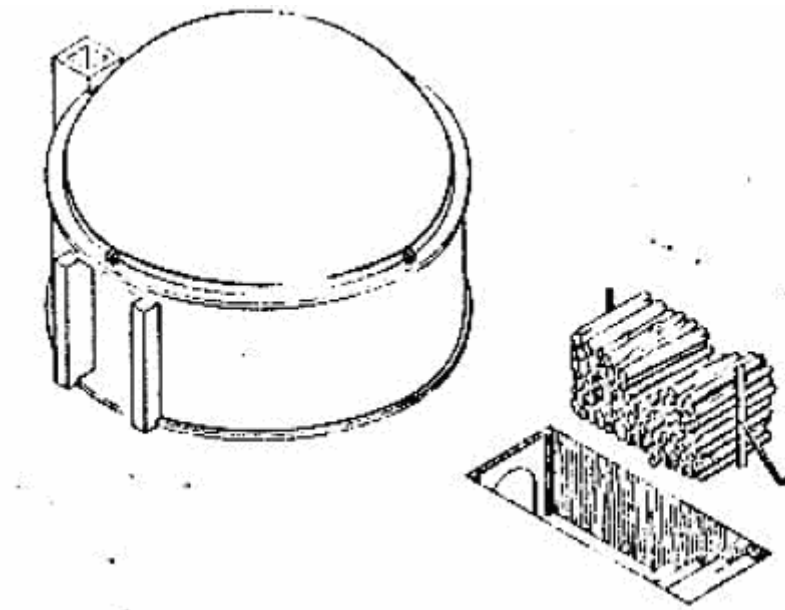


Figura 4.3: Forno tipo colméia visão (a).

Fonte:Fundação Centro Tecnológico de Minas Gerais (1982)

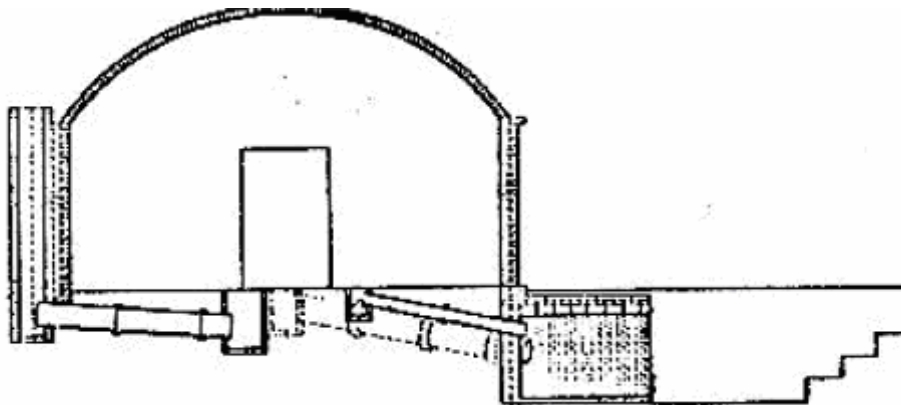


Figura 4.4: Forno tipo colméia visão (b).

Fonte:Fundação Centro Tecnológico de Minas Gerais (1982)

Mundialmente, a utilização de câmaras em fornos convencionais de tijolos não é novidade. No entanto, só recentemente tal idéia passou a ser preconizada em nosso país. Há informações obtidas em testes experimentais de que a produtividade do forno colméia, adaptado com câmara externa, quando comparada à produtividade do forno colméia convencional, é 30% mais elevada. Se bem que existam possibilidades da adaptação de fornos convencionais, os

sistemas de produção de carvão vegetal com fonte externa de calor desenvolveram-se mais acentuadamente no caso das “retortas”. As retortas são em geral equipamentos que lançam mão da combustão externa de gases recuperados do próprio processo para a geração de calor, melhorando assim a eficiência de conversão. As atuais concepções de retesas são projetadas para serem construídas, verticalmente ou horizontalmente, em material metálico, e com dimensões que permitem grandes produções num único equipamento. Além disso, pode-se obter carvão de melhor e mais homogênea qualidade em função das condições mais ideais de controle de processo, (Brito, 1990). Na maioria das retortas, além da recuperação e queima de gases do próprio processo para a geração de calor, prevê-se também a obtenção de gases inertes, que são utilizados no resfriamento do carvão produzido. Em muitas concepções de retortas, com a recuperação de gases, pode-se prever também a obtenção de produtos químicos contidos nos mesmos, (Brito, 1990). Industrialmente, há referências de sistemas de retortas onde, para cada 1 tonelada de madeira, são obtidos:

- 308kg de Carvão Vegetal
- 100kg de Alcatrão
- 65kg de Ácido Acético
- 25kg de Metanol

4.11 QUESTÕES AMBIENTAIS

É fato real que a disponibilidade de material lenhoso proveniente de florestas nativas, permitiu o desenvolvimento crescente da siderurgia a carvão vegetal. A demanda de produtos agrícolas cresceu com o aumento do consumo interno da exportação, criando fronteiras novas de produção. O conseqüente desmatamento, seja diretamente com recursos do produtor ou com financiamentos de programas do Governo, têm gerado em Minas Gerais, Goiás, Sul da Bahia e Mato Grosso, condições para o fornecimento de madeira, que ao invés de ser simplesmente queimada, vem sendo transformada em carvão vegetal. Não se pode negar que a atividade de produção de carvão vegetal, tal como hoje ela é praticada junto às fronteiras de desenvolvimento agrícola, tem fortes vínculos negativos em relação à questão ambiental. Por outro lado, é importante ponderar-se que, particularmente em tais regiões, e numa outra visão do problema, pode-se conceder alguns créditos positivos para a atividade. É que, além do benefício econômico do aproveitamento da madeira, a emissão de gases, e particularmente o

CO₂, é provavelmente menor do que aquela que ocorre quando simplesmente se utiliza a combustão total da madeira, como frequentemente se verifica nas queimadas das florestas. É que na carbonização, de 30 a 40 % da madeira submetida ao processo é recuperada na forma de carvão vegetal e, portanto, não é convertida em gases. Além de menor, a emissão de gases é diluída ao longo de todos os meses do ano, e não brutalmente concentrada na época de estiagem, como ocorre nas queimadas, (Brito, 1990).

O segundo grande problema envolvido com o carvão vegetal liga-se à questão da tecnologia empregada na sua produção. O nosso carvão vegetal é hoje produzido, em sua maior proporção, da mesma forma como o era há um século. A tecnologia é primitiva, o controle operacional dos fornos de carbonização é pequeno, e não se pratica o controle qualitativo e quantitativo da produção. Além desses aspectos, a tecnologia atualmente empregada descarta através da emissão de gases, milhares e milhares de toneladas de componentes químicos. Conforme mencionado anteriormente, do processo de carbonização, aproveita-se de 30 a 40 % da madeira na forma de carvão vegetal. O restante é simplesmente lançado na atmosfera na forma de gases, (Brito, 1990).

Apesar da atividade não se encontrar concentrada num único ponto, com grande dispersão de centros de produção no meio rural, o resultado global das emissões de gases é importante, tanto em relação a perda de produtos químicos valiosos que poderiam ser economicamente recuperados, bem como ao nível de aspectos ambientais, (Brito, 1990).

É evidente que, a adoção de soluções de mais amplo espectro para a recuperação de outros produtos da carbonização, implicam em profundas alterações na sistemática hoje utilizada no Brasil. São alterações que exigem, em primeiro lugar, a adoção de modernas tecnologias e modernos conceitos agro-industriais, fugindo assim da definição que ainda se dá a esta atividade em nosso País, como sendo algo marginal e secundário da atividade rural. Além disso, exigem significativos investimentos iniciais, principalmente, se comparados àqueles necessários para a produção de carvão vegetal pelo modelo tradicional. Se os investimentos são maiores, os ganhos ambientais, no entanto, são muito significativos. Importantes exemplos da possibilidade da produção de carvão vegetal em total consonância com as modernas conceituações de controle ambiental podem ser presenciados em várias fábricas do produto localizadas na Europa, em países como a França, Alemanha, Inglaterra, Bélgica, Iugoslávia, etc, (Brito, 1990).

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABRAF (2006) ANUÁRIO ESTATÍSTICO DA ABRAF |2006 - ANO BASE 2005. Brasília, DF. 72p.

AMS (2005) Anuário estatístico 2005: ANO BASE 2004, Belo horizonte, MG. 21p.

Andrade, M. L. A.; Cunha, L.M.S.; Gandra, G.T. (1999) Reestruturação na siderurgia. BNDES setorial, n. 9 p. 3-44.

Amâncio, M. R. C.; Brandt, S. A.; Pereira, A. R. (1983) Modelo recursivo da oferta e demanda de carvão vegetal para a siderurgia no estado de Minas Gerais. Brasil Florestal, n. 56, p. 31-36.

Bacha, C.J.C.; Barros, A.L.M.(2004) Reflorestamento no Brasil: evolução recente e perspectivas para o futuro. Scientia Forestalis, n.66, p.191-203

Brasil. M. A. M. & Ferreira. M (1979) Características das fibras de madeira de *Eucalyptus grandis* ex Maiden aos 3 anos de idade. IPEF, Piracicaba, (19), 80-97 p.

Brazil, Ministry of Mines and Energy Brazilian Energy Balance, Brasília, 2006.168p.

Briane, D., Doat, J. (1985) *Guide Technique de la Carbonization*. Aix-en-Provence, EDISUD, 180 p.

Brito, J.O. (1990) Princípios de produção e utilização de carvão vegetal de madeira. Documentos Florestais, Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Departamento de Ciências Florestais, Piracicaba (9): 1 –19, 14 p.

Carvalho, R.M.M.A; Soares, T.S.; Valverde, S.R. (2005) caracterizacao do setor florestal: uma abordagem comparativa com outros setores da economia. Ciencia Florestal, Sta. Maria, V.15, nº1 p. 105-118 ISSN 0103-9954

Coelho Junior, L.M.; Calegário, N.; Rezende, J. L. P.; Silva, M. L. (2006 a) Análise longitudinal dos preços do carvão vegetal no estado de Minas Gerais. Revista *Ávore*, Vol. 30, n. 003, Sociedade de Investigações Florestais, Viçosa, Minas Gerais, Brasil. pp. 429-438. ISSN 0100-6762

Coelho Junior, L. M.; Calegário, N.; Rezende, J. L. P.; Sáfyadi, T. (2006 b) Análise temporal do preço do carvão vegetal oriundo de floresta nativa e de floresta plantada. Scientia Forestalis, n. 70, p. 39-48

Coelho Junior, L. M. ; Oliveira, A. D.; Rezende, J. L. P.; Sáfyadi, T. (2005) Análise dos preços de carvão vegetal em quatro regiões no estado de Minas Gerais. Cerne, Lavras, v. 11, n. 3, p. 237-252, jul./set.

Collet, F. (1955) Estudos comparativos em escala de laboratório de diversas madeiras utilizadas na fabricação de carvão vegetal. Boletim da Associação Brasileira de Metais, São Paulo, 42(12): 5-14 p.

Coutinho, A.R. & Ferraz, E.S.B. (1988) Determinação da friabilidade do carvão vegetal em função do diâmetro das árvores e temperatura de carbonização. IPEF, Piracicaba, (38): 33-37 p.

Couto, L.; Müller, M.D.; Dias, A.N.; Tsukamoto, A.A.; Fonseca, E.M.B.; Corrêa, M.R. (2002) Espaçamentos de plantio de espécies de rápido crescimento para dendroenergia. Belo Horizonte: CEMIG, 66p.

Couto, L.; Dubé, F. (2001) The status and practice of forestry in Brazil at the beginning of the 21st century A review The Forestry Chronicle, 77(5):817-830.

Couto, L.; Fonseca, E.M.B.; Müller, M.D. (2000) O estado da arte das plantações de florestas de rápido crescimento para produção de biomassa para energia em Minas Gerais: Aspectos Técnicos, Econômicos Sociais e Ambientais. Belo Horizonte - MG: CEMIG, 44p.

Carvalho, R.M.M.A; Soares, T.S.; Valverde, S.R. (2005) caracterização do setor florestal: uma abordagem comparativa com outros setores da economia. Ciencia Florestal, Sta. Maria, V.15, nº1 p. 105-118 ISSN 0103-9954

Ferreira, O.C. (2000) Emissão de gases de efeito estufa na produção e consumo de carvão vegetal. Economia e Energia, Fapemig, nº 20, 2000.

Fontes; A.A.; Silva, M.L. ; Lima, J.E. (2005) Spatial price integration in the market of wood charcoal in Minas Gerais, Brasil. R. Arvore, Vicosa, MG. V. 29, nº 6, p. 937-946

INFOTEC/ PROCARVÃO. (2000) Carbonização da madeira e produtos obtidos. Informativo Técnico do Programa de Qualificação da Cadeia Produtiva do Carvão Vegetal do Estado de São Paulo, Piracicaba, SP, ano 1, n. 1, Não paginado.

Juvenal, T.L.; Mattos, R.L.G. (2002) O setor florestal no Brasil e a importância do reflorestamento. Rio de Janeiro: BNDES Setorial, n.16, p.3-30.

Köck, U.; Muniz, G.I.B.; Hernandez, J.A.; Andrade A.S. (2005) Química da madeira. Departamento de Engenharia e Tecnologia Florestal, Universidade Federal do Paraná, 3º Ed., Curitiba, 86 p.

Magalhães, J.G.R. (1982) Tecnologia de obtenção da madeira. In: Uso da madeira para fins energéticos. Belo Horizonte, MG: Fundação Centro Tecnológico de Minas Gerais – CETEC, p.56-66.

MARTINS, H(1980) Madeira como fonte de energia. In: CETEC. Uso da madeira para fins energéticos. Belo Horizonte, CETEC, p.9-26.

Nogueira, L.A.H Lora, E.E.S.; Trossero, M.A.; Frisk, T. (2000) Dendroenergia: fundamentos e aplicações. Brasília, DF, 144 p.

Paiva, M. C. S. (2001) análise financeira do carvão vegetal e do coque na siderurgia mineira de 1995 a 1999. Viçosa, UFV, Dissertação de mestrado, 86 p.

Paula, G.M. 1992. Avaliação tecnológica da siderurgia brasileira. Rio de Janeiro: IEI-UFRJ (Dissertação de Mestrado)

Pereira, J.C.D.; Sturion, J.A.; Ha, A. R.; Ha, R.C.V.; Shimizu, J. Y (2000) Características da madeira de algumas espécies de eucalipto plantadas no Brasil. Embrapa Florestas, Colombo, PR. 113p. ISSN 1517 -536X

Rezende, J.L.P.; Vale, A.B.; Minette, L. (1986) Estudo comparativo da produção de carvão da vegetação nativa e de *Eucalyptus* spp.: relatório técnico. Viçosa: UFV

Silva, M.L.; Silva, J.M. (1996) A análise do comportamento temporal dos preços do carvão vegetal: aplicação e avaliação da metodologia "Box and Jenkins". Revista *Ávore*, V. 20, n. 1, P. 57-67

Silveira, R. L. V. A.; Hashi, E. N.; Sgarbi, F.; Muniz, M.R.A. (2001) Seja o doutor do seu eucalipto. Arquivo do agrônomo nº12, Informações agronômicas, nº 93. 23 p.

Smith, E.B. (1989) Determinação da rotação econômica para *Eucalyptus grandis* (W. Hill ex Maiden), destinado à produção de carvão vegetal. Viçosa: Imp. Univ., 69p, (Tese M.S.).

Silva, O.M. ; Pereira, A.R. (1981) Variação estacional dos preços de carvão vegetal no Estado de Minas Gerais. Revista *Ávore*, V.5, n.2, p. 125-134

Soares, N. S., Silva, M. L.; Fontes, A.A. (2004) Análise econométrica do mercado brasileiro de carvão vegetal no período de 1974 a 2000. *Scientia forestalis*, n. 66, p.84 –93,

Rezende, J.L.P.; Vale, A.B.; Minette, L. (1986) Estudo comparativo da produção de carvão da vegetação nativa e de *Eucalyptus* spp.: relatório técnico. Viçosa: UFV, 1986.

Vale, A. T. ; Mourão Brasil, M. A.; Lopes Leão, A. (2002) quantificação e caracterização energética da madeira e da casca de espécies do cerrado. *Ciencia Florestal*, Sta. Maria, V.12, n.1, p. 71-80

Valente, O. F. (1986) Carbonização de madeira de eucalipto. Informe agropecuário, Belo Horizonte, V. 12, n. 141, p. 74-82

Valverde, S. (2001) Colección, análisis y presentación de información socioeconómica: Brasil. FAO, GCP/ RLA/133/EC. 22 p.

Vital, B.R.; Almeida, J.; Valente, O.F.; Pires, I.E. (1994) Características de crescimento das arvores e de qualidade da madeira de *Eucalyptus camaldulensis* para a produção de carvão. IPEF, nº 47, p. 22-28

5. METODOLOGIA APLICADA NA AVALIAÇÃO DE DESEMPENHO AMBIENTAL USANDO ANÁLISE DE FLUXO DE MASSA

Neste trabalho foram utilizadas quatro metodologias para avaliação do desempenho ambiental baseadas no conceito de balanço de materiais para análise da performance ambiental de sistemas de produção descritas na Tabela 6.1. O conceito de balanço de materiais encontrado nas quatro metodologias é expresso pelo uso da ferramenta “Análise de Fluxo de Massa – AFM”, da Ecologia Industrial. A Ecologia Industrial têm como objetivo inventariar e analisar os fluxos mássicos existentes em um sistema de produção, dentro de limites pré-definidos e em função da massa de um material de referência denominada de unidade funcional.

Através do balanço de materiais existentes em sistema de produção, se identificam os pontos ineficientes no uso da massa dos materiais envolvidos, caracterizados pela produção de subprodutos descartados (sem uso) e emissões de poluentes na forma líquida, sólida e gasosa. Os pontos ineficientes no uso da massa são considerados indicadores de impactos ambientais gerados pelo sistema em questão. O sistema ideal teórico é aquele em que a quantidade de massa dos materiais que entram no processo produtivo é igual a quantidade de massa que sai do sistema na forma de produto final ou como subproduto a ser usado em sistema “subseqüente” considerando-se as demandas energéticas.

A “Análise de Fluxo de Massa - AFM” foi usada como base de informações para aplicação nas quatro metodologias consideradas.

O sistema produtivo avaliado foi a cadeia produtiva de ferro gusa baseado no uso de carvão vegetal como termo redutor no Estado de Minas Gerais. As metodologias e sua caracterização são apresentadas na Tabela 6.1.

Tabela 5.1: Caracterização das quatro metodologias utilizadas para análise da performance ambiental do sistema produtivo de ferro gusa a carvão vegetal.

Metodologia	Caracterização	Objetivo
Avaliação da conformidade com a legislação ambiental vigente no Estado de referência.	Avaliação da capacidade de cumprimento do “Plano de Auto Suprimento – PAS”. Em acordo com o Artigo 1º do Decreto Nº 44117, de 29 de Setembro de 2005, pelo setor de produção de ferro gusa baseado no uso de carvão vegetal.	Definir se o estado de Minas Gerais possui capacidade de suporte em relação a sua produção de carvão vegetal com madeira de eucalipto para sustentar a demanda do setor de produção de ferro gusa em três cenários: <ul style="list-style-type: none"> • Capacidade real de produção • Capacidade instalada • Substituição de todo o sistema baseado no uso de coque mineral por carvão vegetal
Avaliação da performance ambiental através da aplicação do indicador “Sablowski 2”.	Indicador que utiliza equação quadrática na forma de pontuação em função da relação entre a massa total e massa de recursos renováveis e a eficiência no uso da massa que entra no sistema.	Pontuar o comportamento ambiental da cadeia de produção, permitindo a comparação com outros sistemas de produção em função do uso de recursos renováveis e da eficiência em massa do processo.
Avaliação dos Impactos Ambientais através da “Análise do Ciclo de Vida – ACV” utilizando o software GaBi 4, desenvolvido no Departamento de Engenharia do Ciclo de Vida da Universidade de Stuttgart – Alemanha.	Software de análise de impactos ambientais amplamente utilizado pelas empresas do setor privado como base para a sua certificação através da série ISO 14044 de certificação ambiental.	Identificar os principais Impactos Ambientais da cadeia produtiva de acordo com as categorias de impacto desenvolvidas na Universidade de Laiden – Holanda, encontradas na série “CML 2001”, em função do balanço de materiais determinado na ACV.
Avaliação das externalidades existentes na cadeia produtiva através do conceito de falhas de mercado existente na Economia Ambiental.	Aplicação dos conceitos de falhas de mercado para identificação de externalidades.	Identificar as externalidades e propor políticas públicas baseadas em “Instrumentos Econômicos de Gestão Ambiental – IEGA” para a internalização dos impactos ambientais.

5.1 ANÁLISE DO FLUXO DE MASSA – AFM NA UTILIZAÇÃO DE CARVÃO VEGETAL PARA PRODUÇÃO DE FERRO GUSA EM MINAS GERAIS

A “Análise do Fluxo de Massa – AFM” foi utilizada para inventariar o balanço de materiais, existente na cadeia produtiva de ferro gusa que utiliza carvão vegetal no estado de Minas Gerais. E gerar a matriz de entrada e saída de materiais, e estabelecer o modelo linear de balanço de materiais da tecnologia padrão utilizada.

Como limites do sistema foram consideradas as áreas implantadas com eucalipto dentro do estado de Minas Gerais como entrada e as indústrias de produção de ferro gusa com carvão vegetal como saída.

O “fluxo principal” avaliado foi o da madeira de eucalipto na sua transformação em carvão vegetal direcionado ao uso como termo redutor na produção de ferro gusa no estado de Minas Gerais.

Os “fluxos interligados” considerados foram os referentes ao uso de combustível fóssil utilizado durante a colheita e exploração da madeira de eucalipto, e o transporte da madeira e do carvão vegetal entre os setores que compõem a cadeia de produção. Também foram analisados os insumos utilizados no processo de termo redução do minério de ferro para produção de ferro gusa.

A “unidade funcional” utilizada como referência para a definição do modelo linear de balanço de materiais foi uma tonelada de ferro gusa posto pátio para comercialização. Dessa forma, todos os valores de massa dos compostos que compõem o balanço de materiais foram expressos em tonelada.

5.1.1 Sistematização para montagem da matriz de balanço de materiais da cadeia produtiva

Para elaboração da matriz de balanço de materiais da cadeia de produção, primeiramente foram avaliados separadamente os três setores que compõem a cadeia: setor de produção de madeira de eucalipto, setor de produção de carvão vegetal, e setor de produção de ferro gusa baseado no uso de carvão vegetal.

Foram geradas três matrizes com limites e unidades funcionais específicas. Posteriormente as matrizes foram agrupadas em uma matriz denominada de principal que definiu o balanço de materiais da cadeia como um todo.

Na Tabela 5.2 é apresentada a sistematização para a montagem das matrizes onde foram definidos os “limites do sistema” e a “unidade de referência” por setor.

Tabela 5.2: Estrutura das matrizes, por setor da cadeia de uso de carvão vegetal na produção de ferro gusa utilizadas na composição da matriz geral e do modelo linear de balanço de materiais.

Setor	Produção de madeira de eucalipto (matriz 1)	Produção de carvão vegetal (matriz 2)	Produção de ferro gusa (matriz 3)
Entrada do Sistema	Floresta plantada de eucalipto	Pátio de carbonização	Área de descarregamento do carvão vegetal na indústria de ferro gusa
Saída do Sistema	Madeira de eucalipto posto pátio de carbonização	Carvão vegetal posto pátio na indústria de ferro gusa	Ferro gusa posto pátio para comercialização
Unidade Funcional	1 tonelada de madeira de eucalipto	1 tonelada de carvão vegetal	1 tonelada de ferro gusa
Fluxo Principal	Madeira de eucalipto	Carvão vegetal de eucalipto	Carvão vegetal de eucalipto
Fluxo Interligado	Combustível para exploração, colheita e transporte da madeira de eucalipto	Combustível para transporte do carvão vegetal	Insumos e minério de ferro utilizados no processo de termo redução

5.1.2 Fluxo de massa do processo de produção

Para maior precisão da avaliação dos pontos de ineficiência no uso dos recursos em massa e da relação de recursos renováveis ao longo do fluxo, o processo foi dividido em seis pontos. A descrição dos pontos e o seu posicionamento no fluxo são apresentados na Tabela 5.3.

Tabela 5.3: Descrição do fluxo principal subdividido em seis pontos ao longo dos três setores que compõe a cadeia de produção de ferro gusa baseado no uso de carvão vegetal.

Fluxo da madeira de eucalipto para transformação em carvão vegetal direcionado ao uso como termo redutor na produção de ferro gusa					
Setor 1: produção de madeira de eucalipto		Setor 2: produção de carvão vegetal		Setor 3: produção de ferro gusa	
Ponto 1:	Ponto 2:	Ponto 3:	Ponto 4:	Ponto 5:	Ponto 6:
Exploração e colheita de madeira de eucalipto	Transporte da madeira de eucalipto para o pátio de carbonização	Carbonização	Transporte do carvão vegetal até a indústria de ferro gusa.	Descarregamento do carvão vegetal na indústria de ferro gusa.	Termoredução do minério de ferro.

5.1.3 Exposição dos resultados da “Análise do Fluxo de Massa – AFM”

Os resultados obtidos com o inventário do balanço de materiais através da análise do fluxo de massa, foram expressos de quatro formas: gráfico de fluxo de materiais, matriz de entrada e saída de materiais, modelo linear de balanço de materiais, e gráfico de “Relação de Recursos Renováveis – RRR” e “Eficiência em Massa – EFM”.

Na Tabela 5.4 é mostrada a descrição dos modelos de apresentação.

Tabela 5.4: Descrição dos modelos de apresentação do balanço de materiais da cadeia produtiva de ferro gusa baseado no uso de carvão vegetal no estado de Minas Gerais.

Modelo	Descrição	Função
Gráfico de Fluxo de Materiais - GFM	O gráfico é uma adaptação do gráfico de Hashimoto & Morigushi (2004). As diferenças são: o uso de indicadores de comportamento ambiental diferentes e não incluir no gráfico uma linha temporal.	Descrever o fluxo mássico corrente na cadeia de produção em formato “Black Box” com a descrição geral do total de massa de entrada em produto e subprodutos gerados, e a diferenciação dos subprodutos em material não descartado (reciclado, reutilizado), material descartado e emissões (líquidas, sólidas e gasosas). Inclui também a descrição da relação entre a massa total de entrada e a massa de recursos renováveis utilizados (RRR) e a relação entre a massa total e a massa transformada em produto (EFM).
Matriz de Entrada e Saída de Materiais (MESM)	A MESM é adaptação da Matriz de Insumos e Produto de Leontief (1936). A matriz tem como diferença o uso de caixa de dupla entrada em cada célula de referencia para o tipo de material (eixo Y) e ponto do fluxo (eixo X), onde é descrita com sinal positivo a entrada pontual de material no sistema e com sinal negativo a saída pontual de material do sistema. O vetor “Y” representa a “unidade funcional” e o vetor “X” a demanda não material do sistema (área de plantio e consumo de energia elétrica).	Descrever o balanço de materiais com detalhamento de todos os materiais considerados na análise e respectivas quantidades de entrada e saída no sistema por ponto definido do fluxo.
Modelo de Equação Linear de Balanço de Materiais - MBM	Equação algébrica linear, onde do lado esquerdo (entrada) encontra-se a soma da matéria de entrada e do lado direito a soma da matéria de saída: (água + minério + ar + madeira de eucalipto + combustível = resíduos sólidos + emissões + ferro gusa)	Descrever o balanço de materiais e servir como modelo para estimação do volume de emissões, produto e subprodutos gerado em função da unidade funcional definida.
Gráfico de RRR x EFM <ul style="list-style-type: none"> • RRR: Relação de Recursos Renováveis. • EFM: Eficiência em Massa 	Gráfico de descrição por ponto definido do fluxo da relação entre a massa total de entrada e a massa de recursos renováveis utilizados (RRR) e a relação entre a massa total e a massa convertida em produto (EFM).	Avaliar o a relação a RRR e a AFM por ponto do fluxo.

5.2 COLETA DE DADOS

Os dados foram coletados em empresas que compõem a cadeia produtiva de ferro gusa que utiliza carvão vegetal no estado de Minas Gerais, nos órgãos que representam essas empresas na forma de associações e sindicato, e nos órgãos governamentais de fiscalização e pesquisa direcionados aos setores que compõem a cadeia de produção.

5.2.1 Sistematização da coleta de dados nas empresas privadas e caracterização dos dados fornecidos

A coleta de dados nas empresas que compõe a cadeia produtiva foi executada através de questionário semi-estruturado. Foram enviados questionários para 46 empresas em atividade nos três setores da cadeia de produção de ferro gusa que utilizam carvão vegetal constantes da listagem do Sindicato das Indústrias de Ferro Gusa – Sindifer. Algumas dessas empresas possuem os três setores em sua estrutura, outras atuam em dois setores, e outras em apenas um. Do total, dez empresas retornaram o questionário respondido, o que representa 21,80 % das empresas. Estas empresas foram visitas para saneamento de quaisquer dúvidas existentes no preenchimento do questionário e inclusão de outros dados complementares.

Entre as dez empresas foram selecionadas oito empresas que representam 17,40 % do total de empresas, foram usadas para compor um conjunto de seis amostras, sendo cada amostra representativa do fluxo total da cadeia de produção (composta pelos três setores). Os nomes das empresas foram substituídos por letras do alfabeto romano com o intuito de preservá-las perante o mercado. O critério de seleção das empresas para composição das amostras foi baseado em três fatores:

- Representação mínima de dez por cento do total de empresas que compõe a listagem do Sindifer – MG.
- Qualidade dos dados fornecidos por empresa em relação à completude dos dados requeridos para composição da análise de fluxo de massa (dados solicitados por setor devem ser completos).
- Que o conjunto de amostras representa-se os quatro tipos de empresas existentes na cadeia de produção: produtora de gusa integrada com produção própria de madeira de eucalipto e carvão vegetal, produtora de gusa independente com produção própria de madeira de eucalipto e carvão vegetal, produtora de gusa independente sem produção própria de madeira de eucalipto e carvão vegetal e produtora de madeira de eucalipto e carvão vegetal sem produção de ferro gusa.

Na Tabela 5.5, são apresentadas as empresas que compõe as amostras e suas respectivas características.

Tabela 5.5: Empresas que compõe as amostras para definição do balanço de matérias da cadeia produtiva de ferro gusa baseada no uso de carvão vegetal em Minas Gerais e sua caracterização.

Empresa	Setor de atuação	Caracterização da empresa
A	1,2 e 3	Produtora integrada de aços planos e tubos de grande porte com produção própria de madeira de eucalipto e carvão vegetal.
B	1 e 2	Reflorestadora de grande porte de madeira de eucalipto e produtora de carvão vegetal.
C	1,2 e 3	Produtora independente de ferro gusa de médio porte com produção própria de madeira de eucalipto e carvão vegetal.
D	1,2 e 3	Produtora independente de ferro gusa de médio porte com produção própria de madeira de eucalipto e carvão vegetal.
E	1,2 e 3	Produtora independente de ferro gusa de pequeno porte com produção própria de madeira de eucalipto e carvão vegetal.
F	1 e 2	Reflorestadora de grande porte de madeira de eucalipto e produtora de carvão vegetal.
G	3	Produtora independente de ferro gusa de pequeno porte sem produção própria de madeira de eucalipto e carvão vegetal.
H	3	Produtora independente de ferro gusa de pequeno porte sem produção própria de madeira de eucalipto e carvão vegetal.

Na Tabela 5.6 são apresentadas as composições das amostras em função das empresas que compõe o conjunto de setores para representação da cadeia de produção.

Tabela 5.6: Composição das seis amostras em função das empresas e os setores representados pelas mesmas.

Amostra	Composição da amostra em relação às empresas e os setores representados		
	Setor 1	Setor 2	Setor 3
1	Empresa A	Empresa A	Empresa A
2	Empresa B	Empresa B	Empresa G
3	Empresa C	Empresa C	Empresa C
4	Empresa D	Empresa D	Empresa D
5	Empresa E	Empresa E	Empresa E
6	Empresa F	Empresa F	Empresa H

O objetivo da amostragem foi estabelecer um comportamento médio do fluxo e do balanço de materiais em função de uma tonelada (t) de ferro gusa produzido utilizando carvão vegetal de eucalipto.

5.2.1.1 Variáveis analisadas

Em função das matrizes setoriais utilizadas para a composição da matriz da cadeia produtiva, as variáveis utilizadas são apresentadas por setor na Tabela 5.7.

Tabela 5.7: Distribuição das variáveis analisadas por setor, que compõe a cadeia de produção de ferro gusa baseada no uso de carvão vegetal em Minas Gerais.

Variáveis		
Setor 1	Setor 2	Setor 3
Massa específica da madeira de eucalipto.	Massa específica do carvão vegetal	Relação carvão vegetal e ferro gusa.
Produção por hectare.	Umidade do carvão	Relação minério de ferro e gusa
Distância média de deslocamento entre a área de colheita e o pátio de carbonização.	Teor de cinzas	Relação insumos e ferro gusa
Área média em hectare para produção de madeira de eucalipto	Teor de voláteis	Rendimento da produção de ferro gusa em relação a matéria prima e insumos
Consumo de combustível para o transporte de madeira da área de plantio até a área de carvoejamento.	Teor de carbono fixo	Massa de água consumida para produção de uma tonelada de ferro gusa.
Consumo de combustível para a colheita mecanizada em sistema de toras curtas.	Distância média de deslocamento entre a área de carbonização e a indústria de ferro gusa	Proporção de finos de carvão gerados durante o processo de termoredução em relação ao ferro gusa produzido
Massa em tonelada dos poluentes MP, NO _x , HC, e CO emitidos na colheita e transporte florestal.	Massa de madeira de eucalipto necessária para produção de uma tonelada de carvão vegetal.	Proporção de escória gerada durante o processo de termoredução em relação ao ferro gusa produzido
Massa de resíduos de biomassa gerados durante o processo de colheita florestal.	Massa de subprodutos gerados durante o processo de carvoejamento de carvão (resíduos e emissões)	Proporção de sucata metálica gerada durante o processo de termoredução em relação ao ferro gusa produzido
	Área em hectare necessária para produção de carvão vegetal utilizando madeira de eucalipto.	Proporção de finos de minério gerado em relação a massa de minério de ferro
	Consumo de diesel para transporte de carvão vegetal da área de carvoejamento para a área de produção de ferro gusa.	Proporção de finos de carvão vegetal em relação a massa de carvão vegetal.
	Massa em tonelada dos poluentes MP, NO _x , HC, e CO emitidos no transporte.	Massa de carvão vegetal de eucalipto consumida para produção de ferro gusa.
		Massa de minério de ferro consumido para produção de utilizando carvão vegetal
		Massa de insumos consumida para produção de ferro gusa.
		Massa de ar consumida para produção de ferro gusa.

		Massa de água consumida para produção de ferro gusa.
		Massa de finos de carvão oriundo do processo de descarregamento e peneiramento.
		Massa de finos de minério de ferro oriundo do processo de descarregamento e peneiramento.
		Massa de escória gerada na produção de ferro gusa.
		Massa de pó de balão e lama gerada na produção de ferro gusa.
		Massa de sucata metálica ferrosa gerada na produção de ferro gusa.
		Emissões atmosféricas oriundas do processo de termoredução de ferro gusa.
		Energia elétrica consumida no processo de termoredução de ferro gusa.
		Massa de carvão vegetal total de entrada para produção de ferro gusa.
		Estimativa da massa de minério de ferro total de entrada para produção de uma tonelada de ferro gusa.
		Área em hectare de plantio de eucalipto para produção de carvão vegetal necessária para produção de ferro gusa.

5.3 ANÁLISE ESTATÍSTICA

A análise estatística teve como objetivo avaliar a representatividade das amostras em relação à capacidade real de cada setor. Para o setor de floresta plantada considerou-se o total de área plantada das amostras em relação ao total de área plantada no estado. Para o setor de produção de carvão vegetal, considerou-se o total de produção das amostras pela demanda por carvão vegetal para termoredução no Estado de Minas Gerais. Para o setor de ferro gusa considerou-se o total de ferro gusa produzido pelas amostras em relação ao total produzido em Minas Gerais utilizando carvão vegetal como termo redutor.

Um outro objetivo da análise estatística foi verificar a representatividade da média dos valores dos dados coletados nas empresas em relação ao perfil padrão de tecnologia usada na cadeia produtiva de ferro gusa no Estado de Minas Gerais, e verificar a qualidade dos valores das variáveis utilizadas na elaboração do fluxo e do modelo de balanço de materiais. Para a avaliação da variabilidade dos dados obtidos nas empresas e definição do

padrão de consumo de matéria prima e insumos, e geração de produto e subprodutos, foi utilizado o gráfico de controle de amplitude móvel de Shewhart (Montgomery, 2004). Posteriormente monitorou-se a média obtida utilizando o gráfico “X” de Shewhart (Montgomery, 2004) para os três setores avaliados separadamente.

O gráfico de amplitude móvel de Shewhart foi usado com base nas observações das amostras que continham uma unidade ($n = 1$), em relação a variável aleatória contínua Y . Assim de “ m ” amostras e considerando o comprimento da amplitude móvel –AM, igual a dois ($C_{am} = 2$), foi possível obter ($m - 1$) estimativas de amplitude móvel - AM. Com base nessas estimativas foi possível calcular a média e desvio padrão da AM, e conseqüentemente a LM e os limites de controles (Montgomery, 2004).

Em uma primeira fase foram avaliadas as variabilidades dos dados fornecidos. Estando estas dentro das linhas de controle, foi construído e interpretado o gráfico de controle da média. O monitoramento da média foi executado com base na média ponderada das variabilidades que ocorreram dentro de todas as amostras. Para o monitoramento da média foi executada a análise de amplitude móvel para todos os comprimentos de amplitude existentes. O maior valor de amplitude móvel em cada comprimento foi confrontado com o valor de limite superior equivalente. Para que os valores da amostra representem a média de um comportamento produtivo comum, o valor de amplitude móvel de maior valor entre as amostras que compõe o comprimento de amplitude de referencia deve ser menor que o valor do “Limite de Controle Superior - LCS” encontrado para a mesma amostra e comprimento.

O gráfico de controle da medida individual (X) de Shewhart (Montgomery, 2004) foi usado com base nas observações das amostras que continham uma unidade ($n = 1$). Assim para “ m ” amostras foi possível obter “ m ” valores de variável aleatória contínua. Com base nestas estimativas é possível calcular a média e o desvio padrão da variável aleatória contínua “Y”.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Hashimoto, S.; Moriguchi, Y. (2004) Data Book: Material and Carbon Flow of Harvested Wood in Japan. Report D034-2004, Center for Environment Research, National Institute for Environment Studies, Japan. 42p.

Leontief, W. 1936. Quantitative input-output relations in the economic system. Review of Economic Statistics 18, 105-125.

Montgomery, D.C. (2004) *Introduction to statistical quality control* USA: John Wiley & Sons

6. ANÁLISE DE FLUXO DE MASSA DO CARVÃO VEGETAL DE EUCALIPTO NA PRODUÇÃO DE FERRO GUSA NO ESTADO DE MINAS GERAIS

6.1 INTRODUÇÃO

Neste capítulo são apresentados os resultados obtidos com a análise de fluxo de massa do carvão vegetal de eucalipto de acordo com a metodologia apresentada nos itens 5.1, 5.2 e 5.3.

Os resultados referentes à análise estatística para avaliação da representatividade da amostra por setor da cadeia de produção e do “Controle da Média” dos valores das variáveis obtidas junto às empresas são apresentadas em conjunto para todos os setores na forma de tabela. Sendo os resultados discriminados por setor.

Os valores estimados das variáveis complementares, as matrizes de entrada e saída de materiais e a descrição do perfil de cada setor são apresentados separadamente.

No final apresenta-se a matriz representativa da cadeia de produção de ferro gusa a base de carvão vegetal no estado de Minas Gerais, o gráfico de fluxo resultante, a equação de balanço de materiais e a análise de performance ambiental utilizando o indicador Sablowski 2.

6.2 ANÁLISE ESTATÍSTICA

6.2.1 Análise da representatividade do conjunto de amostras em relação a cada setor

Para a análise foi escolhida uma variável de referência para cada setor. Para o setor de florestas plantadas utilizou-se o total de área plantada da amostra em relação ao total de área plantada com eucalipto no estado de Minas Gerais. O valor total do estado foi o definido no inventário florestal para o ano base de 2005, realizado por Scolforo e Carvalho (2006) que é de 1.015.633,00 ha.

Para o setor de produção de carvão vegetal com madeira de eucalipto, relacionou-se o total produzido pelo conjunto de amostras e a demanda existente deste produto para uso como termoreductor no estado de Minas Gerais. O valor da demanda foi obtido no anuário estatístico da AMS (2005) para o ano base de 2004 que é de 36.920.000,00 mdc. Aplicando o fator de conversão de mdc para m³ do IBAMA (1996) que é 1,2 se obteve o valor de 30.766.666,00 m³. Considerando o valor médio de massa específica do carvão vegetal segundo IBAMA (1996) que é de 250 kg/ m³ estimou-se a demanda em 123.066,66 t.

Para o setor de ferro gusa considerou-se o total produzido pela amostra em relação ao total produzido em Minas Gerais utilizando carvão vegetal como termoreductor. De acordo com o anuário do Sindifer (2004) para o ano base de 2003, o total estimado de ferro gusa produzido no estado de Minas Gerais foi de 490.702,00 t./ mês.

Os valores de cada referência, os valores do conjunto de amostras detalhados por empresa e o nível de representatividade do conjunto de amostra por setor são apresentados na Tabela 6.1.

Tabela 6.1: Análise da representatividade do conjunto de seis amostras por setor da cadeia produtiva de ferro gusa no Estado de Minas Gerais.

Setor	Unid.	VR	Valores por empresas componentes da amostra						VT	Repres. (%)
Madeira	ha	1015633	100000	106000	50000	20000	10000	39807	325807	32,07
Carvão	t./ mês	123.066	20750	19698	13125	3750	5000	3440	65763	53,43
Gusa	t./ mês	490702	18750	15177	14000	6499	21831	2859	79116	16,12

Onde: Unid.= Unidade; VR = Valor de referência; VT = Valor Total; Repres. = Representatividade

6.2.2 Análise da média dos valores das variáveis obtidas pelo questionário nas empresas que compõe o conjunto de amostras como representativas do padrão de tecnologia usado na produção de ferro gusa a base de carvão vegetal de madeira de eucalipto no Estado de Minas Gerais

É apresentado como exemplo do formato da análise do gráfico de “Amplitude móvel – AM” e do gráfico de “Controle da média –X” de uma variável. A análise da média dos

valores referentes a massa específica da madeira de eucalipto, obtidos junto as empresas componentes do conjunto de amostras.

A análise da média dos valores das variáveis descritas no questionário são apresentadas na forma de tabela. Sendo uma tabela para cada conjunto de variáveis referentes a um setor.

6.2.2.1 Análise da média dos valores referentes à massa específica da madeira

A média dos valores observados da massa específica da madeira gerada nos plantios de eucalipto das empresas que compõe o grupo de amostras representa a qualidade da matéria prima existente no setor para produção de carvão vegetal no estado de Minas Gerais. Desta forma utilizou-se o gráfico de Shewhart (Montgomery, 2004) para monitorar a média da amplitude móvel e avaliar se o processo esta sob controle. E assim concluir sobre a representatividade desta média em relação ao universo amostrado. Na Tabela 6.2 são apresentados os valores amostrados.

Tabela 6.2: Massa específica da madeira de eucalipto por empresa do grupo de amostra avaliado.

Variável	Unid.	Empresa					
		A	B	C	D	E	F
Massa específica	g/cm ³	0,55	0,56	0,53	0,54	0,53	0,51

A Tabela 6.3 apresenta os resultados referentes à análise de amplitude móvel das amostras de seis empresas observando a massa específica da madeira de eucalipto produzido.

Tabela 6.3: Controle da amplitude móvel entre as amostras referentes a massa específica da madeira produzida para produção de carvão vegetal no estado de Minas Gerais.

Dados para controle da média				
Amostra	CAM	Desvio padrão	> valor de AM	LCS
m-1	2	0,014	0,03	0,05
m-2	3	0,016	0,03	0,05
m-3	4	0,012	0,02	0,04
m-4	5	0,013	0,02	0,04
m-5	6	0,018	0,02	0,06

Nota: CAM= Comprimento de Amplitude Móvel; LCS= Limite de Controle Superior; AM= Amplitude Móvel; m= tamanho da amostra;

A Figura 6.1 é mostra o gráfico de amplitude móvel de Shewhart (Montgomery, 2004) dos valores de massa específica da madeira produzida em seis empresas para uso na produção de carvão vegetal no estado de Minas Gerais.

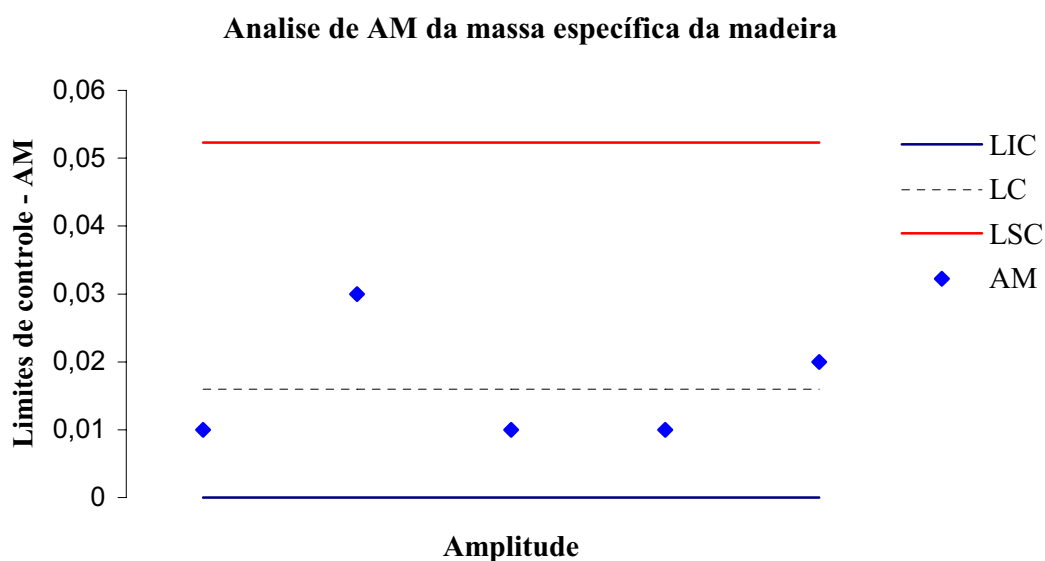


Figura 6.1: Gráfico de controle da média dos valores de massa específica da madeira de eucalipto produzido por empresa.

Observando-se o maior valor de amplitude móvel por comprimento de amplitude em relação ao valor do limite superior de controle equivalente na Tabela 7.11. Conclui-se que o processo está sob controle pois nenhuma amplitude individual foi maior que o limite de controle superior definido pela amplitude média. A proximidade dos valores de desvio padrão da análise com cada comprimento de amplitude indica a ausência de fatores que poderiam interferir na análise e assim a amostra é representativa de um

padrão de produção, (Montgomery, 2004). A Figura 7.1 mostra a amplitude móvel de Shewhart, onde as amplitudes individuais estão dentro dos limites de controle estabelecidos para este conjunto de amostra .

No gráfico de controle da medida individual “X” de Shewhart (Montgomery, 2004) da Figura 6.2, representa-se o comportamento individual das empresas em relação ao comportamento médio estabelecido e os limites de controle do processo de produção de madeira com eucalipto para a produção de carvão no estado de Minas Gerais em referencia a massa específica da madeira.

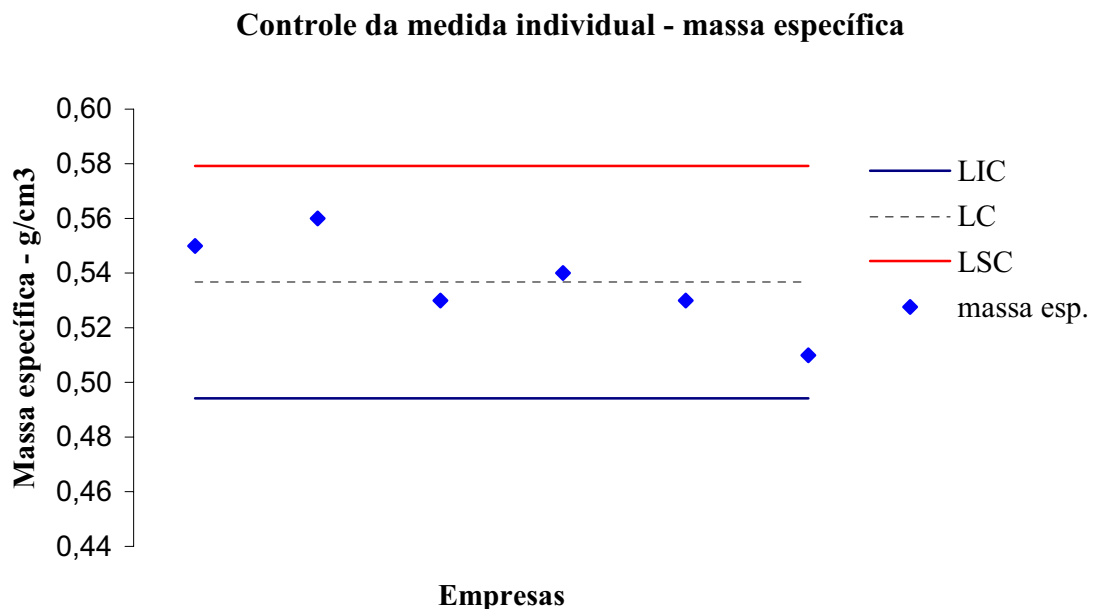


Figura 6.2: Gráfico “X” de controle da medida individual dos valores de massa específica da madeira de eucalipto produzido por empresa.

Assim pode-se dizer que o valor médio da massa específica da madeira produzida com eucalipto para produção de carvão vegetal no estado de Minas Gerais é de 530 kg/ m³.

Análise das variáveis obtidas por questionário junto às empresas componentes do conjunto de amostras

As Tabelas 6.4, 6.5, e 6.6 apresentam as variáveis, seus valores por empresa, os resultados da análise de “Amplitude Móvel – AM” e do “Controle da Média – X” e a média aceita como valor estimado do padrão de tecnologia referente aos setores de

produção de madeira de eucalipto, carvão vegetal e ferro gusa respectivamente. No caso de ocorrência de exclusão de um dos valores da amostra por este se apresentar fora das linhas de controle, o fato foi relatado na coluna de observações.

Tabela 6.4: Análise da média dos valores das variáveis obtidas por questionário junto às empresas componentes do conjunto da amostra em relação ao setor de produção de madeira de eucalipto para produção de carvão vegetal destinado a produção de ferro gusa no Estado de Minas Gerais.

Variável	Valores por empresa						Análise de AM	Análise “Gráfico X”	Média	Observações:
	A	B	C	D	E	F				
Massa específica madeira (g/ cm ³)	0,55	0,56	0,53	0,54	0,53	0,51	OK	OK	0,53	—
Produção por hectare (m ³ /ha)	210	175	266	280	323	282	OK	OK	256	—
Deslocamento (km)	20	15	15	20	10	10	OK	OK	15	—

Onde: AM = Amplitude Móvel

Utilizando o fator de conversão 1,20 IBAMA (1996) de “mst” para m³ de madeira define-se a produção média por hectare em 307,2 mst/ ha.

Tabela 6.5: Análise da média dos valores das variáveis obtidas por questionário junto às empresas componentes do conjunto da amostra em relação ao setor de produção de carvão vegetal com madeira de eucalipto destinado à produção de ferro gusa no Estado de Minas Gerais.

Variável	Valores por empresa						Análise de AM	Análise “Gráfico X”	Média	Observações:
	A	B	C	D	E	F				
Massa específica carvão (g/ cm ³)	0,25	0,26	0,27	0,23	0,25	0,24	OK	OK	0,25	—
Umidade (%) bs	2	4	2	4	6	6	OK	OK	4	—
Teor de cinzas (%)	3	5	1	2	5	2	OK	OK	3	—
Teor de Voláteis (%)	22	21	23	26	21	25	OK	OK	23	—
Teor de carbono fixo (%)	75	74	76	72	74	73	OK	OK	74	—
Deslocamento (km)	500	420	150	500	400	600	OK	OK”	484	O valor de deslocamento da empresa C foi identificado como fora de padrão de acordo com a análise do gráfico “X”. Desta forma foram refeitos os cálculos desconsiderando a empresa C, e então se verificou que processo está controlado. E a média é referente ao conjunto das empresas A, B, D, E, e F.

Onde: AM = Amplitude Móvel; bs = base seca; OK” = conclusivo em segunda análise

Tabela 6.6: Análise da média dos valores das variáveis obtidas por questionário junto às empresas componentes do conjunto da amostra em relação ao setor de produção de madeira de eucalipto para produção de carvão vegetal destinado a produção de ferro gusa no Estado de Minas Gerais.

Variável	Valores por empresa						Análise de AM	Análise “Gráfico X”	Média	Observações:
	A	C	D	E	G	H				
Relação carvão vegetal/ gusa.	0,75	0,71	0,81	0,76	0,73	0,71	OK	OK	0,76	---
Relação minério de ferro/ gusa	1,65	1,63	1,88	1,48	1,57	1,49	OK”	OK”	1,56	O valor da relação minério de ferro/ gusa da empresa D foi identificado como fora de padrão de acordo com a análise de “AM”. Desta forma foram refeitos os cálculos desconsiderando a empresa D, e então se verificou que processo está controlado. E a média é referente ao conjunto das empresas A, C, E, G e H.
Relação insumos/ gusa	0,14	0,19	0,15	0,13	0,12	0,31	OK”	OK”	0,17	O valor da relação insumos/ gusa da empresa H foi identificado como fora de padrão de acordo com a análise de “AM”. Desta forma foram refeitos os cálculos desconsiderando a empresa H, e então se verificou que processo está controlado. E a média é referente ao conjunto das empresas A, C, D, E, e G.
Rendimento da produção de ferro gusa em relação à matéria prima e insumos	0,39	0,40	0,35	0,42	0,41	0,39	OK”	OK”	0,40	O valor do rendimento da empresa D foi identificado como fora de padrão de acordo com a análise de “AM”. Desta forma foram refeitos os cálculos desconsiderando a empresa D, e então se concluiu o processo como controlado. E a média é referente ao conjunto das empresas A, C, E, G e H.
Massa de água consumida para produção de uma tonelada de ferro gusa.	0,02	0,05	0,08	0,05	0,06	0,07	OK	OK	0,06	---
Proporção de finos de carvão gerados durante o processo de termoredução em relação ao ferro gusa produzido	0,16	0,21	0,20	0,11	0,23	0,13	OK	OK	0,17	---
Proporção de escória gerada durante o processo de termoredução em relação ao ferro gusa produzido	0,01	0,01	0,03	0,04	0,02	0,01	OK	OK	0,02	---
Proporção de sucata metálica gerada durante o processo de termoredução em relação ao ferro gusa produzido	0,06	0,05	0,07	0,06	0,05	0,08	OK	OK	0,06	---
Proporção de finos de minério gerado em relação a massa de minério de ferro	0,26	0,38	0,29	0,18	0,12	0,15	OK	OK	0,18	---

Onde: AM = Amplitude Móvel; OK” = conclusivo em segunda análise

6.3 DADOS ESTIMADOS

Os dados estimados são dados complementares para elaboração do fluxo, os quais as empresas não possuem, ou possuem de forma pontual em função de estudos específicos como “Estudo de Impacto Ambiental - EIA” ou “Relatório de Impacto Ambiental - RIMA”.

Dessa forma parte das estimativas foram baseadas nas médias calculadas dos dados obtidos junto às empresas, outra parte dos dados existentes nesses estudos, ou em dados obtidos junto aos institutos privados e públicos. Os resultados são apresentados por setor separadamente.

6.3.1 Dados estimados para o setor de produção de madeira de eucalipto para produção de carvão vegetal no Estado de Minas Gerais

Para o setor de madeira os valores utilizados para estimativa das variáveis são compostos pelas médias calculadas com os dados obtidos junto às empresas, fatores de conversão e equações de literatura citada.

6.3.1.1 Área média em hectare para produção de uma tonelada de madeira de eucalipto para produção de carvão vegetal no estado de Minas Gerais

Para a estimativa da área em hectare necessária para produção de uma tonelada de madeira de eucalipto, foi considerada a produção por hectare e a massa específica definida pelos dados coletados junto às empresas neste trabalho.

A massa total obtida em um hectare que foi de 135,68 t. Assim para produção de uma tonelada de madeira de eucalipto é necessário 0,0074 ha de área de plantio.

6.3.1.2 Consumo de combustível para o transporte de uma tonelada de madeira por quilômetro rodado

O conjunto veicular de carga considerado é o de peso médio (capacidade de carga entre 10 e 20 toneladas) que de acordo com Machado (2000) possui um rendimento energético no valor de 27 t.km/ L. Utilizando a fórmula de rendimento energético (Machado, 2000), calculou-se o

consumo em litro de diesel, para a distância média de deslocamento de 15 km. O valor estimado é de 11,10 l.

Definido como consumo médio de diesel para o transporte de 20 toneladas de madeira em um deslocamento de 15 quilômetros (média das empresas) o valor de 11,10 l. Podemos definir como consumo médio de diesel por tonelada de madeira para o seu deslocamento da área de plantio para a área de produção de carvão vegetal o valor de 0,55 l.

Para o cálculo em massa do consumo do diesel, considerou-se a massa específica definida pela portaria ANP nº 240, de 25 de agosto de 2003 que é de 840,00 kg/ m³. E assim a massa de diesel necessário é de 0,462 kg ou 0,0005 t..

6.3.1.3 Consumo de combustível em massa para a colheita mecanizada em sistema de toras curtas de uma tonelada de madeira

De acordo com Oliveira Junior & Seixas (2006) o consumo total de diesel para colheita de um metro cúbico de madeira de eucalipto utilizando o sistema de “toras curtas” é de 0,93 l/ m³.

Através da massa específica média de 530 kg/ m³ obtida neste trabalho, estimou-se o consumo de diesel por uma tonelada de madeira de eucalipto em 1,75 l.

A massa de diesel calculado para colheita de uma tonelada de madeira de eucalipto para produção de carvão vegetal no estado de Minas Gerais é de 0,0015t.

6.3.1.4 *Massa em tonelada dos poluentes MP, NOx, HC, e CO emitidos na colheita e transporte florestal de uma tonelada de madeira da área de plantio para o pátio de carvoejamento no estado de Minas Gerais*

De acordo com BEN (2006), um metro cúbico de diesel equivale a 0,848 tep, que por sua vez equivale a 11,63 x 10³ kWh. Um metro cúbico de diesel de acordo com a portaria ANP nº 240, de 25 de agosto de 2003 tem uma massa específica de 840,00 kg/ m³ e pesa 840 quilogramas. Assim um quilo de diesel equivale a 13,84 kWh.

E dessa forma o consumo de diesel para a colheita de uma tonelada de madeira é de 1,470 kg, e representa 20,35kWh. O padrão de emissão de MP e NOx para motores diesel de veículo pesado definido pela União Européia é de 0,15 e 7,00 g/ kWh respectivamente. Assim para a colheita de uma tonelada de madeira de eucalipto para produção de carvão vegetal no estado de Minas Gerais utilizando o sistema mecanizado de toras curtas temos a emissão de 3,075 g de material particulado e 142,45 g de NOx, em tonelada temos $3,075 * 10^{-6}$ de MP e $142,45 * 10^{-6}$ de NOx.

Para o deslocamento de 15 km. E considerando os valores de emissão de poluentes para motor diesel de veículos leves, definido para 49 estados dos Estados Unidos (Braun, 2003) os quais são mostrados na Tabela 6.7.

Tabela 6.7: Emissões padrão de motor diesel para veículo leve em 49 estados dos Estados Unidos da América de acordo com Braun (2003).

Ano de referencia	MP g/ km	CO g/ km	HC g/ km	NOx g/ km
1996	0,10	4,20	0,31	1,25

Para o transporte de uma tonelada de madeira de eucalipto até a área de carbonização são estimados os valores por poluente descritos na Tabela 6.8.

Tabela 6.8: Emissões médias de MP, CO, HC e NOx em tonelada para um deslocamento de 15 km utilizando veículo leve.

Deslocamento	MP t.	CO t.	HC t.	NOx t.
15 km	$1,50 * 10^{-6}$	$63,00 * 10^{-6}$	$4,65 * 10^{-6}$	$18,75 * 10^{-6}$

Assim no processo de colheita e transporte de uma tonelada de madeira de eucalipto para produção de carvão vegetal no estado de Minas Gerais, estima-se o valor de emissão por poluente descritos na tabela 6.9.

Tabela 6.9: Emissões médias de MP, CO, HC e NOx em tonelada para colheita e transporte de madeira em tora de eucalipto para produção de carvão vegetal no estado de Minas Gerais.

Transporte e colheita	MP	CO	HC	NOx
Tonelada	4,57 * 10 ⁻⁶	63,00 * 10 ⁻⁶	4,65 * 10 ⁻⁶	161,20 * 10 ⁻⁶

6.3.1.5 Estimativa da massa de resíduos de biomassa gerados durante o processo de colheita florestal para uma tonelada de madeira de eucalipto

A massa de resíduos para cada tonelada de madeira de eucalipto produzida na empresa A é apresentada na Tabela 6.10.

Tabela 6.10: Massa de resíduos em tonelada por tonelada de madeira de eucalipto produzido.

Material	Massa em tonelada
Galhada	0,048
Folha	0,055
Raiz	0,136
Total	0,239

Fonte: Empresa A

E se definiu que para cada tonelada de madeira de eucalipto produzida para produção de carvão vegetal no estado de Minas Gerais são produzidos 0,239 t. de resíduos de biomassa.

6.3.2 Dados estimados para o setor de produção de carvão vegetal com madeira de eucalipto no estado de Minas Gerais

Para o setor de madeira, os valores utilizados para estimativa das variáveis são compostos pelas médias calculadas com os dados obtidos junto as empresas, fatores de conversão e equações de literatura citada.

6.3.2.1 Estimativa da massa de madeira de eucalipto necessária para produção de uma tonelada de carvão vegetal no estado de Minas Gerais

Para um rendimento gravimétrico de carvão vegetal de 36,83% (Trugilho *et al.*, 2001) são necessários 2,715 t. de madeira de eucalipto para produção de 1,000 t de carvão vegetal.

6.3.2.2 Massa de subprodutos gerados durante o processo de produção de uma tonelada de carvão (resíduos e emissões) com madeira de eucalipto no estado de Minas Gerais

Considerando o rendimento gravimétrico de licor pirolenhoso de 42,33% e o rendimento gravimétrico de gases não condensáveis de 20,84% determinados por Trugilho *et al.* (2001) e a estimativa de massa de madeira de eucalipto para produção de uma tonelada de carvão vegetal no estado de Minas Gerais de 2,715 t., obteve-se os valores em massa de licor pirolenhoso e gases não condensáveis apresentados na Tabela 7.20.

Tabela 6.11: Massa de licor pirolenhoso e gases não condensáveis gerados na produção de uma tonelada de carvão vegetal com madeira de eucalipto no estado de Minas Gerais.

	Licor pirolenhoso	Gases não condensáveis
Massa (t.)	1,149	0,566

Considerando o percentual de massa dos componentes do licor pirolenhoso do trabalho de Briane & Doat. (1985), estimou-se a massa de cada componente gerado na produção de uma tonelada de carvão vegetal com madeira de eucalipto no estado de Minas Gerais, (Tabela 6.12).

Tabela 6.12: Massa em tonelada dos componentes do licor pirolenhoso gerado na produção de uma tonelada de carvão vegetal no estado de Minas Gerais.

Licor pirolenhoso	
Componente	massa (t.)
H ₂ O	0,643
Ácido acético	0,138
Metanol	0,058
Aromáticos	0,080
Fenólicos	0,069
Aldeídos e derivados	0,023
Alcatrão	0,138

Considerando o percentual de massa dos componentes dos gases não condensáveis do trabalho de Briane & Doat. (1985), estimou-se a massa de cada componente gerado na produção de uma tonelada de carvão vegetal com madeira de eucalipto no estado de Minas Gerais, (Tabela 6.13).

Tabela 6.13: Massa em tonelada dos componentes dos gases não condensáveis gerados na produção de uma tonelada de carvão vegetal no estado de Minas Gerais.

Gases não condensáveis	
Componente	massa (t.)
CO ₂	0,298
CO	0,208
H ₂ + HC	0,060

HC= Hidrocarbonetos

6.3.2.3 Área em hectare necessária para produção uma tonelada de carvão vegetal utilizando madeira de eucalipto no estado de Minas Gerais

Considerando a estimativa de 0,0074 ha de área para produção de uma tonelada de madeira de eucalipto e de 2,715 t. de madeira de eucalipto necessária para produção de uma tonelada de carvão vegetal, estima-se a área necessária para produção de uma tonelada de carvão em 0,0201 ha.

6.3.2.4 Consumo de diesel em massa (tonelada) para transporte de uma tonelada de carvão vegetal da área de carvoejamento para a área de produção de ferro gusa

O conjunto veicular de carga considerado é o semipesado (capacidade de carga entre 20 e 30 toneladas) que de acordo com Machado (2000) possui um rendimento energético no valor de 35 t.km/ l.

Utilizando a fórmula de rendimento energético (Machado, 2000), estimou-se o consumo de combustível em 414,86 l para o deslocamento de 30 t de carvão vegetal na distância média de 484 km, definido pelos dados coletados junto às empresas.

Portanto o consumo médio de diesel por tonelada de carvão vegetal para o seu deslocamento da área de carvoejamento para a área de produção de ferro gusa (15 km) é de 13,82 l.

Considerando-se a massa específica do diesel que é de 840,00 kg/ m³. A massa de diesel necessário é de 0,0012 t..

6.3.2.5 Estimativa da massa em tonelada dos poluentes MP, NO_x, HC, e CO emitidos no transporte de uma tonelada de carvão vegetal da área de carvoejamento para o pátio de produção de ferro gusa no estado de Minas Gerais

De acordo com BEN (2006), um metro cúbico de diesel equivale a 0,848 tep, que por sua vez equivale a 11,63 x 10³ kWh. Um metro cúbico de diesel de acordo com a portaria ANP nº 240, de 25 de agosto de 2003 tem uma massa específica de 840,00 kg/ m³ e pesa 840 quilogramas. Assim um quilo de diesel equivale a 13,84 kWh.

O consumo de diesel para o transporte de uma tonelada de carvão vegetal é de 11,60 kg, que representa 160,54 kWh. O padrão de emissão de MP e NO_x para motores diesel de veículo pesado definido pela União Européia é de 0,15 e 7,00 g/ kWh respectivamente. Assim para o transporte de uma tonelada de carvão vegetal da área de carvoejamento para o pátio de produção de ferro gusa no Estado de Minas Gerais. Tem-se a emissão de 24,08g de material particulado e 1123,78g de NO_x. Em tonelada tem-se 24,08 * 10⁻⁶ t. de MP e 0,001 t. de NO_x.

6.3.3 Dados estimados para o setor de produção de ferro gusa

Para o setor de ferro gusa os valores utilizados para estimativa das variáveis são os constantes de “Estudos de Impacto Ambiental – EIA” e “Relatórios de Impacto ambiental – RIMA” pontuais de cada empresa. Dessa forma os valores estimados são os valores existentes nesses estudos referentes a uma tonelada de ferro gusa. A única exceção foi a estimativa da área de plantio de eucalipto, para a qual foram utilizados dados estimados baseados nos valores coletados junto as empresas. Os valores estimados são apresentados na Tabela 6.14, com exceção para a estimativa das emissões atmosféricas que são apresentadas em Tabela 6.15.

Tabela 6.14: Dados estimados para o setor de produção de ferro gusa a base de carvão vegetal no Estado de Minas Gerais referenciados a uma tonelada de ferro gusa posto pátio.

Variável	Unidade	Valor
Massa de carvão vegetal de eucalipto consumida	t.	0,760
Massa de minério de ferro consumido	t.	1,560
Massa de insumos consumida	t.	0,170
Massa de ar consumida	t.	1,800
Massa de água consumida	t.	0,750
Massa de finos de carvão oriundo do processo de descarregamento e peneiramento	t.	0,180
Massa de finos de minério de ferro oriundo do processo de descarregamento e peneiramento	t.	0,060
Massa de escória gerada	t.	0,170
Massa de pó de balão e lama gerada	t.	0,060
Massa de sucata metálica ferrosa	t.	0,020
Energia elétrica consumida	kWh	111,36
Massa de carvão vegetal total de entrada	t.	0,897
Massa de minério de ferro total de entrada	t.	1,654
Área em hectare de plantio de eucalipto	ha	0,180

6.3.3.1 Emissões atmosféricas oriundas do processo de termoredução de uma tonelada de ferro gusa, utilizando carvão vegetal no estado de Minas Gerais

A estimativa da massa de gás de alto forno – GAF, gerado na produção de uma tonelada de ferro gusa utilizando carvão vegetal é de 2,950 t.. Considerando que em média 50% do GAF é reutilizado no reator, temos o direcionamento de 1,475 t. de GAF para queima na chaminé e as massas referentes aos compostos do GAF após a queima são descritas na tabela 6.15.

Tabela 6.15: Massa dos componentes do gás de alto forno após queima na chaminé para produção de uma tonelada de ferro gusa.

Massa dos componentes do GAF após a queima na produção de 1 t. de ferro gusa	
Elemento	Massa (t.)
CO ₂	0,343
CO	0,001
H ₂	0,059
O ₂	0,020
N ₂	1,052

6.4 BALANÇO DE MATERIAIS

6.4.1 Balanço de materiais no setor de produção de madeira de eucalipto para produção de carvão vegetal no estado de Minas Gerais

A matriz de entrada e saída de matéria do setor de produção de madeira de eucalipto para produção de carvão vegetal no estado de Minas Gerais é apresentada na Figura 6.3. A matéria de entrada é composta pela biomassa vegetal viva de *Eucalyptus ssp.* e o óleo combustível tipo diesel automotivo. A matéria de saída é composta pela madeira de eucalipto “posto pátio”, resíduo de biomassa e emissões de poluentes oriundos da combustão do óleo diesel. Os valores estão referenciados a uma tonelada de madeira de eucalipto.

		Posição no fluxo		Vetor Demanda
		Colheita	Transporte	1 t.
Madeira	E	+1,2390	+1,0000	
	S	-1,0000	-1,0000	
Diesel	E	+0,0015	+0,0005	
	S			
Resíduo de madeira	E			
	S	- 0,2390		
MP	E			
	S	- 1,50 * 10 ⁻⁶	- 3,07* 10 ⁻⁶	
CO	E			
	S	- 63,00* 10 ⁻⁶		
HC	E			
	S	- 4,65* 10 ⁻⁶		
NOx	E			
	S	- 18,75* 10 ⁻⁶	- 142,45* 10 ⁻⁶	
Outros	E			
	S	- 0,0014	- 0,0004	
		0,0074 ha (área de plantio de eucalipto)		

Figura 6.3: Matriz de entrada e saída de material do setor de produção de madeira de eucalipto para produção de carvão vegetal no Estado de Minas Gerais.

O setor de produção de madeira de *Eucalyptus* sp. para transformação em carvão vegetal destinado a termoredução de minério de ferro para obtenção de ferro gusa no Estado de Minas Gerais. Caracteriza-se por uma produção média por hectare de 256 m³/ ha com massa específica média de 530 kg/ m³. O deslocamento médio entre a área de plantio e a área de produção de carvão vegetal é de 15 quilômetros. A área necessária para a produção de uma tonelada de madeira é de 0,0074 ha. Ao utilizar o sistema mecanizado de “toras curtas” o consumo estimado de diesel é de 0,0015 t para cada tonelada de madeira extraída. O consumo de combustível para o transporte, considerando o uso de conjunto veicular de carga de peso médio (20-30 toneladas) conforme Cardoso (2000) em sua capacidade máxima, da área de plantio até a área de carbonização é de 0,0005 t por tonelada de madeira.

Em relação aos resíduos de madeira oriundos do processo de colheita (galhos, folhas e raízes), estima-se a produção de 0,239 t por tonelada de madeira colhida. Dessa forma conclui-se que para a produção de uma tonelada de madeira é necessário 1,239 t de biomassa viva (árvore inteira).

Em relação às emissões de gases poluentes pela combustão de óleo diesel nas etapas de colheita e transporte estimou-se a produção de $33,58 * 10^{-6}$ t. de NO_x, $3,01 * 10^{-6}$ t. de HC e $23,80 * 10^{-6}$ t. de CO para cada tonelada de madeira.

6.4.2 Balanço de materiais no setor de produção de carvão vegetal de madeira de eucalipto para produção de ferro gusa no Estado de Minas Gerais

Na matriz da Figura 6.4 são apresentadas as entradas e saídas do setor de produção de carvão vegetal com madeira de eucalipto para produção de ferro gusa. E os valores foram referenciados a uma tonelada de carvão vegetal de madeira de eucalipto.

Matéria (t.)		Posição no fluxo		Vetor Y
		Carbonização	Transporte	
Madeira	E	+2,715		1 t.
	S			
Carvão vegetal	E		+1,000	
	S	-1,000	- 1,000	
Diesel	E		+0,012	
	S			
Licor pirolenhoso anidro	E			
	S	- 0,368		
Alcatrão	E			
	S	- 0,138		
H ₂ O	E			
	S	- 0,643		
CO ₂	E			
	S	- 0,298		
CO	E			
	S	- 0,208		
H ₂ + HC	E			
	S	- 0,060		
MP	E			
	S		- 24,08 * 10 ⁻⁶	
NO _x	E			
	S		- 0,001	
CO ₂	E			
	S		- 0,011	
Vetor V		0,0201 ha (área de plantio de eucalipto) 0,011 t. energia		

Onde: E = Entrada; S = Saída

Figura 6.4 Matriz de entrada e saída de material do setor de produção de carvão vegetal de madeira de eucalipto para produção de ferro gusa no estado de Minas Gerais.

O setor de produção de carvão vegetal com madeira de *Eucalyptus* sp., para abastecimento do processo de termoredução de minério de ferro para obtenção de ferro gusa no estado de Minas Gerais se caracteriza por um produto (carvão vegetal) de massa específica de 250kg/ m³, com umidade de 4% na base seca, teor de cinzas de 3%, teor de voláteis de 23%, teor de carbono fixo de 74%. O deslocamento médio entre a área de carvoejamento e a área de produção de ferro gusa é de 484 quilômetros e o consumo médio de combustível (diesel) é de 0,012 t. por tonelada de carvão vegetal. A massa média estimada de madeira de eucalipto necessária para a produção de uma tonelada de carvão vegetal é de 2,715 t. e são gerados no processo de carvoejamento 1,149 t. de licor pirolenhoso e 0,566 t. de gases não condensáveis (emissões).

6.4.3 Balanço de materiais no setor de produção de ferro gusa com o uso de carvão vegetal no estado de Minas Gerais

A Figura 6.5 mostra a matriz de entrada e saída de matéria do setor de produção de ferro gusa com carvão vegetal no Estado de Minas Gerais. Os valores são referentes a uma tonelada de ferro gusa.

Matéria (t.)		Posição no fluxo		Vetor Y
		Descarregamento	Termoredução	
Minério de ferro	E		+ 1,654	1 t.
	S		- 0,060	
Carvão vegetal	E	+ 0,897	+ 0,717	
	S	- 0,180		
Fundentes	E		+ 0,170	
	S			
Ar	E		+ 1,800	
	S		- 1,556	
H2O	E		+ 0,750	
	S		- 0,750	
GAF	E			
	S		- 1,475	
Escória	E			
	S		-0,170	
Pó de balão	E			
	S		-0,054	
Lama	E			
	S		- 0,006	
Sucata metálica	E			
	S		-0,020	
Vetor V		0,0180 ha (área de plantio de eucalipto) 111,36 kWh (energia elétrica)		

Onde: E = Entrada; S = Saída

Figura 6.5: Matriz de entrada e saída de material do setor de produção de ferro gusa baseado no uso de carvão vegetal como termo redutor no estado de Minas Gerais.

O setor de produção de ferro gusa baseado no uso de carvão vegetal para termoredução do minério de ferro no estado de Minas Gerais se caracteriza pelo consumo médio para o processamento de uma tonelada de ferro gusa de 0,897 t. de carvão vegetal, 1,654 t. de minério de ferro, 0,170t. de insumos (fundentes). Para a manutenção do processo de termoredução ocorre o consumo de 1,800t. de ar, 0,750t. de água e 111,36 kWh de energia elétrica. Em relação aos subprodutos gerados se estima uma massa de 0,170 t. de escória; 0,054 t. de pó de balão; 0,006 t. de lama e 0,020 t. de sucata metálica.

6.4.4 Modelo de balanço de materiais para o fluxo de carvão vegetal com madeira de eucalipto no estado de Minas Gerais para produção de ferro gusa

O modelo matemático do balanço de materiais da cadeia produtiva de ferro gusa baseado no uso de carvão vegetal de madeira de eucalipto no estado de Minas Gerais foi obtido através da

análise do fluxo de massa do material madeira transformado em carvão vegetal para termoredução de uma tonelada de ferro gusa. Na Figura 6.6 é apresentada a matriz do balanço de materiais da cadeia completa de produção de ferro gusa a base de carvão vegetal de madeira de eucalipto no estado de Minas Gerais, em referencia a uma tonelada de ferro gusa posto pátio. Nas colunas estão representados os pontos do fluxo e nas linhas estão representados a matéria analisada (madeira “in natura” e transformada em carvão vegetal), os insumos associados (combustível, ar, água e minérios) e os subprodutos gerados (resíduos e emissões). O vetor demanda “Y” representa uma tonelada de ferro gusa produzido “posto pátio” e o vetor demanda “V” representa a área de plantio e o consumo de energia elétrica necessários à produção de uma tonelada de ferro gusa utilizando carvão vegetal de eucalipto como termo redutor. Os valores com sinal positivo representam entrada no ponto do fluxo e os valores negativos saída.

Matéria		Posição no fluxo da massa em tonelada (t)						Vetor Y
		Co	Tr	Ca	Tr	De	Te	
Madeira	E	+ 3,017	+ 2,435	+ 2,435				1 t.
	S	- 2,435	- 2,435					
Diesel	E	+ 0,004	0,001		+ 0,011			
	S							
Minério de ferro	E						+ 1,654	
	S							
Carvão vegetal	E				+ 0,897	+ 0,897	+ 0,717	
	S			- 0,897	- 0,897	- 0,717		
Fundentes	E						+ 0,170	
	S							
Ar	E						+ 1,800	
	S						- 1,556	
H2O	E						+ 0,750	
	S			- 0,577			- 0,750	
Licor pirolenhoso anidro	E							
	S			- 0,330				
Alcatrão insolúvel	E							
	S			- 0,124				
O2	E							
	S						- 0,020	
Escória	E							
	S						-0,170	
CO + CO2	E							
	S	- 153,04*10-6		- 0,453			- 0,344	
H2 + HC	E							
	S	- 9,69*10-6		- 0,054			- 0,059	
MP	E							
	S	- 3,65*10-6	- 7,47*10-6		- 21,60*10-6			
NOx	E							
	S	- 45,66*10-6	346,86*10-6		- 0,001		- 1,052	
Resíduo de madeira	E							
	S	- 0,582						
Pó de balão	E							
	S						-0,054	
Lama	E							
	S						- 0,006	
Sucata metálica	E							
	S						-0,020	
Energia de combustão	E							
	S	-0,003	0,001		- 0,010			
Finos de carvão	E							
	S					- 0,180		
Finos de minério	E							
	S						- 0,060	
Vetor V		0,0180 ha (área de plantio de eucalipto); 111,36 kWh (energia elétrica)						

Co = Colheita; Tr = Transporte; Ca = Carbonização; De = Descarregamento; Te = Termoredução; E= entrada; S= Saida

Figura 6.6: Balanço de materiais da cadeia de produção de ferro gusa baseado no uso de carvão vegetal de madeira de eucalipto no Estado de Minas Gerais em referência a uma tonelada de ferro gusa posto pátio.

A Figura 6.7 mostra a representação gráfica do balanço de materiais. Onde é definida a massa da matéria prima e dos insumos, a razão entre a massa de matéria renovável e a massa total, a massa total, a massa de produto e subproduto gerados, a massa final utilizada e não utilizada, a massa descartada e massa das emissões.

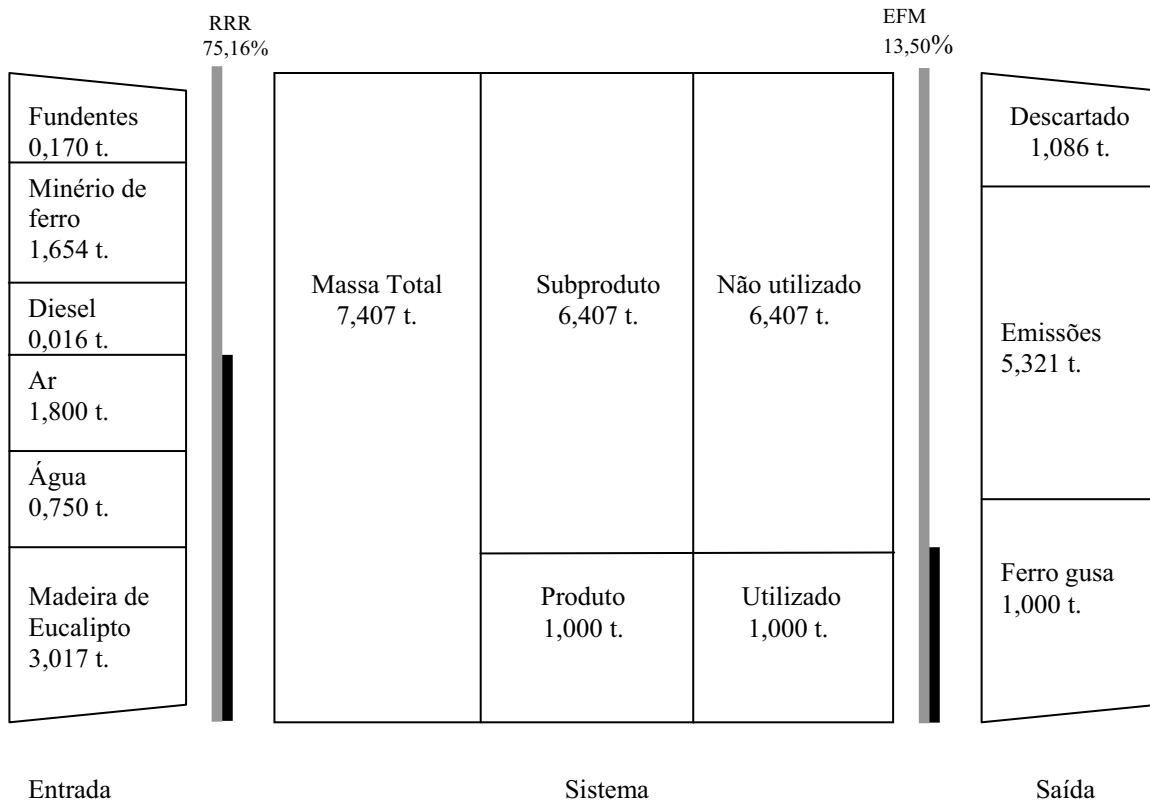


Figura 6.7: Balanço de materiais de para produção de uma tonelada de ferro gusa utilizando carvão vegetal de madeira de eucalipto no estado de Minas Gerais.

O modelo geral de balanço de materiais em massa (tonelada), para uma unidade de produção de ferro gusa baseado no uso de carvão vegetal de madeira de eucalipto como termoreductor no estado de Minas Gerais, em referencia a uma tonelada de ferro gusa posto pátio é apresentado abaixo.

$$0,75(\text{Ag}) + 1,82(\text{Mi}) + 0,02(\text{D}) + 1,80(\text{Ar}) + 3,02(\text{Ma}) = 1,09(\text{Rs}) + 5,32(\text{E}) + 1,00(\text{F})$$

Onde: (Ag) = Água; (Mi) = Minérios; (Ar) = Ar; (Ma) = Madeira de eucalipto; (Rs) = Resíduos sólidos; (E) = Emissões atmosféricas; (F) = Ferro gusa.

Para a produção de uma tonelada de ferro gusa utilizando carvão vegetal de madeira de eucalipto como termoreductor é necessário 0,0180 ha de área de plantio e 111,36 kWh de energia elétrica. Esses valores são constantes, referenciadas a uma tonelada de ferro gusa de acordo com a tecnologia de produção definida neste trabalho que é representativa de um padrão existente no estado de Minas Gerais. E desta forma pode ser usada para estimar a área necessária de plantio e o consumo de energia necessário para uma determinada massa de ferro gusa a ser produzido.

6.5 INDICADOR SABLÓWSKI 2 PARA VALORAÇÃO DE PERFORMANCE AMBIENTAL DE SISTEMAS DE PRODUÇÃO

A necessidade de observação das causas que geram os efeitos, já é defendida por diversos autores. Desta forma, a contribuição deste trabalho é apresentar uma equação para valoração da performance ambiental de sistemas de produção, que contribua com a aplicação prática destes conceitos. O indicador de performance ambiental Sablowski 2 busca internalizar na análise do processo produtivo os conceitos da “Ecologia Industrial” onde a busca pelo uso de recursos renováveis e da eficiência no uso de sua massa e energia são prioritárias. E dessa forma tem o objetivo de facilitar para o gestor de processos industriais, a sua atuação sobre o processo de produção com foco na redução da carga ambiental do processo.

Este indicador busca valorar a performance ambiental através da relação das características de renovação dos produtos e subprodutos gerados, com as características da matéria prima e insumos utilizados em relação a eficiência do processo no uso de sua massa.

Ressaltando-se que a classificação de um recurso como renovável, está associado à relação entre a taxa de demanda e a taxa de oferta deste recurso existente no sistema de produção. E considerando que a taxa de oferta é função da capacidade de geração da matéria prima, mas também da capacidade de regeneração ou recuperação. E não em função da sua origem ser natural ou não. Ou seja, os recursos são considerados renováveis quando ao longo de uma geração a sua existência pode ser reposta, Lustosa (1998).

6.5.1 Resultados

Na Figura 6.7, a RRR da cadeia de produção de ferro gusa baseado no uso de carvão vegetal produzido com madeira de eucalipto no estado de Minas Gerais é de 75,16% e a EFM é de 13,50%. Utilizando a equação para valoração de comportamento ambiental Sablowski 2 a performance ambiental desta cadeia de produção encontramos o valor de:

$$\begin{aligned} \text{Ef Amb (\%)} &= (0,7516 * 0,1350) * 100 \\ &= 10,15 \% \end{aligned}$$

Aplicando a equação para o conjunto de pontos que compõe a cadeia, definidos na análise de fluxo de massa. Obtém-se o gráfico de análise pontual da performance ambiental apresentado na Figura 6.8.

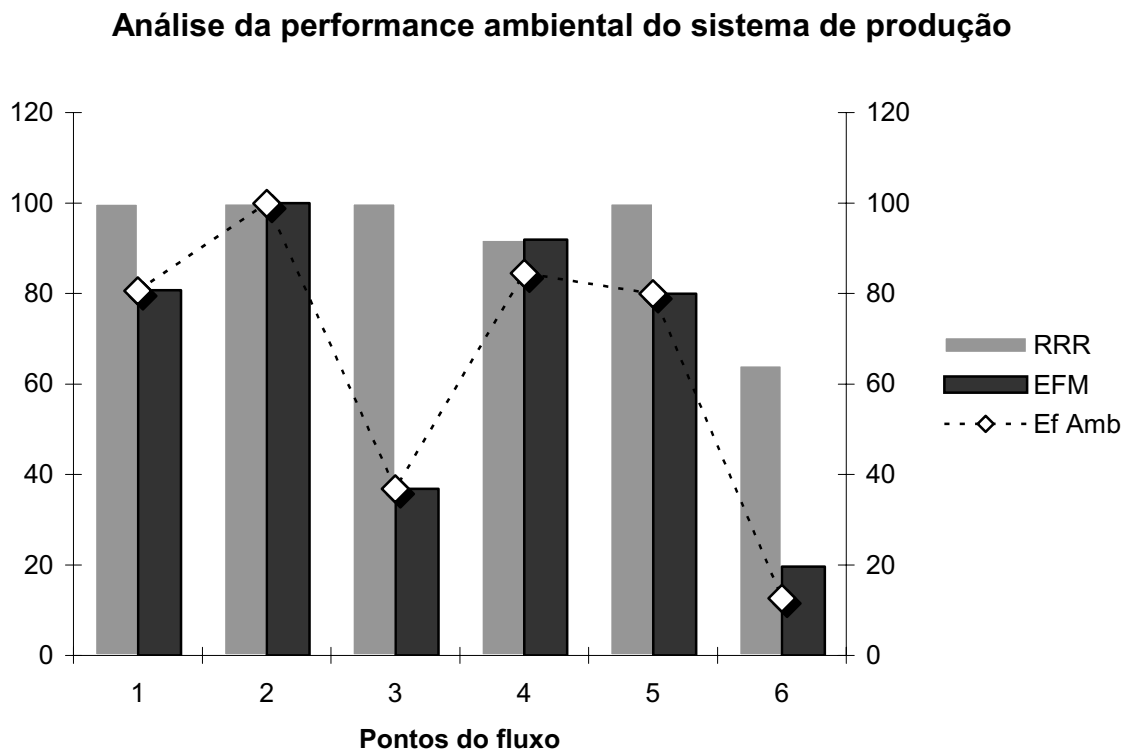


Figura 6.8: Gráfico de análise pontual da performance ambiental da tecnologia de produção de ferro gusa utilizando carvão vegetal no estado de Minas Gerais

Considerando uma escala de 0 a 100, o baixo valor da eficiência ambiental deste processo é função da baixa eficiência no uso dos materiais ao longo da cadeia. Desta forma, o uso de um recurso renovável em grande escala, neste caso representado pelas florestas plantadas. Não compensa a ineficiência no uso do mesmo. Na prática, o uso ineficiente deste recurso renovável gera aumento da taxa de demanda por este recurso e pode culminar na transformação de um recurso renovável em não renovável. Caso a sua taxa de regeneração (oferta) não compense mais a taxa de sua demanda. Os pontos críticos são o de número 3, que representa o processo de carbonização e o ponto 6 que representa o processo de termo redução.

6.5.2 Discussão sobre a metodologia do indicador Sablowski 2

As variáveis de “comportamento ambiental” aplicados na equação, buscam traduzir as diretrizes definidas como necessárias pelos diferentes autores que estudam o balanço de materiais, dentro dos conceitos Ecologia Industrial.

Para a efetiva melhoria da performance ambiental dos sistemas de produção. Erkman (1997), Canas (2003), Pongracz (2005) e Allenby (2000) são unânimes ao afirmar a necessidade de que o processo de produção seja avaliado não somente em função de seus impactos finais. Mas em função das causas desses impactos que podem ser avaliados como impactos intermediários e iniciais ao fluxo total.

Pongracz (2005), Allenby (2000) e Graedel & Allenby (1997) definem que é necessário avaliar a matéria prima utilizada em função da intensidade de uso e a eficiência do seu uso em relação a sua massa e a energia despendida no processo. É neste sentido que o indicador denominado “Eficiência em Massa – AFM” foi gerado. Indicadores similares já são utilizados por outros autores, principalmente em trabalhos de gestão de produção. Já que seu formato é uma relação que define o rendimento de um processo. A diferença é que geralmente não são usados os valores em massa diretamente. Mas sim, uma relação entre essa medida e valores monetários como citado no trabalho do Eurostat (2001). No caso do trabalho de Hashimoto & Moriguchi (2004), um indicador com maior aproximação é o denominado “Eficiência no Uso de Materiais - MUE”. Mas este indicador tem como objetivo avaliar a possibilidade de recuperação de subprodutos. No caso da AFM a eficiência do processo, considera a soma do produto gerado com o de subprodutos utilizados.

O princípio do uso deste indicador em função dos fatores citados acima é o fato do aumento na eficiência de uso dos materiais, representar redução direta dos impactos do início ao fim da cadeia. Maior eficiência no uso, significa a necessidade de menor quantidade de matéria prima por unidade produzida e assim menor pressão (redução da taxa de demanda) sobre os recursos necessários a manutenção da atividade produtiva. E conseqüentemente ao longo da cadeia, a maior eficiência reduz a taxa de emissão de poluentes e a geração de resíduos.

Com relação ao indicador RRR, ele foi gerado considerando a colocação de Pongracz (2005), Graedel e Allenby (1995) que definem como necessário a busca de matéria prima que seja capaz de manter as suas características. Permitindo a sua recuperação após o término da vida útil do produto e uso direto no início da cadeia de produção, como substituto da matéria prima de origem primária. Ou seja, deve ser uma matéria prima capaz de ser renovável e assim direcionar um sistema de ciclo aberto de produção para um sistema de ciclo fechado, como definido por Pongracz (2005). Sistemas de ciclos fechados podem ser entendidos como uma aproximação de sistemas retroalimentados e desta forma aproximam-se do conceito de autosustentabilidade.

Também foram consideradas na formulação dos indicadores, as colocações de Behrensmeyer *et al* (1998) e Allenby (2000) com relação às qualidades que indicadores baseados no balanço de materiais devem possuir. Onde o indicador deve permitir identificar a causa específica mas deve usar uma fórmula geral para isso. E dessa forma permitir a comparação entre os resultados obtidos com diferentes matérias aplicados ao mesmo processo. E ao mesmo tempo permitir a comparação entre diferentes trabalhos focados na mesma matéria prima e processo. Nesse sentido, ambos os indicadores cumprem esses requisitos. Pois a característica de ser renovável ou não é independente do processo em que a matéria prima esteja sendo aplicada. E desta forma permite comparações em ambas as situações citadas pelos autores. Da mesma forma ocorre com a consideração da eficiência no uso da matéria.

Outra questão importante em relação a estrutura da equação, é o uso da relação entre os indicadores na forma quadrática. O uso de relação linear permite que haja esforço apenas em função de um dos requisitos na busca da melhoria do comportamento ambiental de um processo produtivo. Isso por que a eficiência positiva de um dos indicadores compensará a eficiência negativa do outro indicador. Pois o valor definido pela equação será baseado na soma de esforços. Assim, um processo que utiliza recurso não renovável mas com alta taxa de

eficiência no seu uso. Será indicado como um processo de eficiência mediana. O que na prática não corresponde com a realidade de um sistema sustentável. Pois o uso de recurso sem capacidade de reposição no sistema irá culminar na exaustão do mesmo. Da mesma forma o uso de recurso renovável, mas com alta ineficiência no seu uso transformará a característica de “recurso renovável” em não renovável. Já que a taxa de regeneração não será capaz de suprir a taxa de demanda. Conseqüentemente ocorrerá uma pressão demasiada na obtenção do recurso, podendo levá-lo a sua exaustão. E certamente culminará em taxas de emissão e geração de resíduos, extremamente negativas ao meio ambiente.

Como o conceito desenvolvido é que haja eficiência dos dois indicadores concomitantemente, a sua relação na equação deve ser quadrática. Induzindo a melhoria dos dois indicadores ao mesmo tempo. A performance ambiental do processo só será acima da média em uma escala de 0 a 100, quando os dois processos isoladamente possuírem um comportamento positivo acima de 70%.

E também a geração de um fator que permita maior clareza da relação existente entre a melhoria dos fatores utilizados como variáveis (recursos renováveis e eficiência em massa) e as categorias de impacto existentes.

6.6 CONCLUSÕES

A AFM permite identificar os setores ineficientes no uso da matéria observando a sua massa. Os pontos ineficientes no uso da massa identificados no gráfico da Figura 7.7, servem como indicadores de impactos ambientais e de ineficiência do sistema de produção. Ressaltando-se a ineficiência no uso da matéria pode representar o aumento das emissões e geração de resíduos no meio e final da linha de produção. E representará o aumento da pressão sobre os recursos em função da necessidade de consumo de maior quantidade de matéria prima por unidade produzida.

Observando a equação de balanço de materiais gerada, através da AFM, verificou-se que na cadeia produtiva de ferro gusa a base de carvão vegetal do estado de Minas Gerais se identificou uma perda de 86 % da massa da matéria e insumos utilizados. Esse é um valor extremamente alto, ao considerarmos que o fluxo ideal é aquele em que toda a matéria ou energia que entra no sistema deve sair dele na forma de produto e energia utilizada.

Analisando as matrizes de entrada e saída de materiais, identificaram-se como principais pontos ineficientes em relação ao uso da massa o processo de carbonização e de termo redução. Para a melhoria da eficiência do processo de carbonização se deve buscar o uso de tecnologias que aumentem a recuperação dos gases liberados durante esse processo. Parte desses gases quando condensados geram componentes passíveis de utilização na geração de produtos já comercializados atualmente.

Em relação ao processo de termoredução se deve buscar um sistema de resfriamento da carcaça mais eficiente no uso da água. Mesmo com a maior parte da água usada no sistema total sendo de circuito fechado, a perda da água para resfriamento da carcaça do reator gera grande perda desse recurso pela evaporação. O segundo ponto é a massa de ar já aquecido, oriundo do processo de termoredução, que é queimado sem aproveitamento. Esse gás tem potencial tecnicamente reconhecido para geração de energia elétrica. É interessante observarmos que no balanço de materiais as emissões representam 71,79% da perda de massa. E os procedimentos citados acima atuam diretamente nesse percentual.

6.6.1 Indicador de performance ambiental Sablowski 2

De acordo com a análise de performance ambiental da cadeia produtiva de ferro gusa a base de carvão vegetal, em função dos resultados obtidos com o indicador Sablowski 2. O principal problema está na ineficiência do rendimento em massa do processo. Essa ineficiência se encontra principalmente durante o processo de carbonização e de termoredução como demonstrado na matriz de entradas e saídas. A ineficiência no processo de carbonização é função da não recuperação dos gases condensáveis e no processo de termoredução é em função da não utilização dos gases gerados durante o processo em sua totalidade. E do grande consumo de água para resfriamento da carcaça do reator de termoredução.

Em relação ao indicador, identifica-se a necessidade de incremento da sua capacidade em internalizar as causas dos impactos ambientais do processo produtivo no processo de análise, através do estudo mais aprofundado de fatores como a taxa de recuperação, reciclagem e reuso. Permitindo assim uma classificação com maior exatidão dos recursos como renováveis ou não. E também a geração de um fator que permita maior clareza da relação existente entre a melhoria dos fatores utilizados como variáveis (recursos renováveis e eficiência em massa) e as categorias de impacto existentes.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICA

Allenby B.R. (2000) Implementing industrial ecology The AT&T matrix system *Interfaces*; 30, 3; ABI/INFORM Global pg. 42

AMS (2005) Anuário estatístico 2005: Ano Base 2004, Belo horizonte, MG. 21p.

BEN (2006) Ministério das Minas e Energia . Balanço energético nacional, Brasília, 2006.168p.

Braun, S.; Appel, L. G.; Schmal, M.. A poluição gerada por máquinas de combustão interna movida a diesel - a questão dos particulados. Estratégias atuais para a redução e controle das emissões e tendências futuras. *Química nova* , vol. 27, no. 3, 472-482, 2003.

Canas A, Ferrão P., Conceição P. A (2003) New Environmental Kuznets curve? Relationship between direct material input and income per capita: evidence from industrialized countries. *Ecological Economics* n° 46: 217-229p.

Erkman, S. (1997) Industrial Ecologyan Historic View. *Cleaner Prod.* Vol. 5, No. 1-2, 1-10, pp. Elsevier Science Ltd. Great Britain 0959-6526/97

Eurostat (2001) Economy– Material flowaccounts and derived indicators: A methodological guide. Luxembourg; Statistical Office of European Union. 89p.

Graedel, T.E.; AllenbyB.R (1995) *Industrial Ecology*Prentice Hall, New JerseyUSA.

Himamoto, S.; Moriguchi, Y(2004) Data Book : Material and Carbon Flow of Harvested Wood in Japan. Report D034-2004, Center for Environment Research, National Institute for Environment Studies, Japan. 42p.

Ibama (1996) Instrução Normativa N° 1. Instituto Brasileiro do Meio Ambiente, Ministério do Meio Ambiente. Brasília – DF. 17p.

Lustosa, M. C. (1998) O custo de uso e os recursos naturais. XI Encontro Nacional de Economia – Vitória, 14p.

MontgomeryD.C. (2004) Introdução ao controle estatístico da qualidade. Tradução de Ana Maria Lima de Freitas e Vera Regina Lima de Faria e Flores. 4ªed., Livros Técnicos e Científicos editora S/A, Rio de Janeiro. 513 p.

Pongracz, E. (2005) Basics of Industrial Ecology material flow tools of IE, IE vs. waste management 480370S Industrial Ecologyand Recycling course Lecture on October 12th 2005, Department of Process and Environmental Engineering. 36p.

Machado,C. C. Elementos básicos do transporte florestal rodoviário. Viçosa, UFV, 2000. 167p.: il.

Scolforo e Carvalho (2006) Mapeamento e inventário da flora nativa e dos reflorestamentos de Minas Gerais. Lavras, UFLA. 288p. ISBN 85-87692-31-3

Sindifer, 2005. Anuário Estatístico: Ano base 2004. Sindicato da Indústria de Ferro Gusa de Minas Gerais, FIEMG, Belo Horizonte, Minas Gerais. p.23

7. ANÁLISE DE CONFORMIDADE DO FLUXO DE CARVÃO VEGETAL PARA PRODUÇÃO DE FERRO GUSA NO ESTADO DE MINAS GERAIS COM O “PLANO DE AUTO-SUPRIMENTO - PAS”, LEI Nº 14.309, DE 19 DE JUNHO DE 2002

7.1 INTRODUÇÃO

O cumprimento da legislação ambiental deve ser pré-requisito para a estruturação e manutenção de qualquer atividade produtiva. E portanto, na gestão ambiental de unidades, setores ou cadeias de produção, a avaliação da conformidade com a legislação é um processo contínuo e obrigatório.

A legislação ambiental do estado de Minas Gerais, direcionada ao setor de base florestal e atende às atividades industriais como celulose e papel, siderurgia, serraria e movelaria. Possui como principal diretriz o controle sobre a capacidade de fornecimento de matéria prima para a manutenção dessas atividades. Esse controle visa não somente garantir a oferta da matéria prima, mas principalmente controlar a origem dela, visando a redução do uso de madeira de origem nativa.

O controle é executado pelo “Plano de Auto Suprimento – PAS” e a sua regulamentação está na Lei nº 14.309, de 19 de Junho de 2002, publicada no diário oficial de Minas Gerais em 20 de Junho de 2002.

Em relação a cadeia de produção de ferro gusa, mais especificamente o setor de produção de carvão vegetal, a regulamentação visa limitar o uso de carvão vegetal de origem nativa e incentivar a implantação e uso de florestas plantadas. O carvão de origem nativa somente é legalizado quando a madeira é extraída sob plano de manejo florestal de rendimento sustentado no estado de Minas Gerais, ou estar licenciada de acordo com a legislação do estado de origem.

O objetivo da análise desenvolvida neste capítulo é avaliar a capacidade do estado de Minas Gerais de cumprir a legislação ambiental vigente através de sua auto-suficiência. Para isso se confrontou a equação de balanço de materiais obtida a partir da análise de fluxo de massa apresentada no capítulo seis, com o inventário florestal para o estado de Minas Gerais executado pela Universidade de Lavras no ano de 2005. Complementou-se a avaliação com os dados estatísticos do Sindifer (Sindicato de Ferro Gusa – MG) e da Associação Mineira de Silvicultura – AMS.

Os cálculos consideraram o valor global de uso de madeira nativa regulamentado pelo Artigo 1º do Decreto Nº 44117, de 29 de Setembro de 2005. O qual define o valor global de 15,7% em relação ao uso de madeira de floresta plantada para consumidores de grande porte, que é o caso das empresas que constituem a cadeia produtiva de ferro gusa a base de carvão vegetal.

Art 1º - Fica estabelecido que o percentual máximo excedente permitido de consumo de carvão originado de florestas nativas, em relação ao consumo de carvão originado de florestas plantadas do Estado de Minas Gerais, para o exercício de 2005, é de 15,7% (quinze ponto sete por cento), não podendo ser ultrapassado mesmo com o pagamento de reposição florestal em dobro, conforme parágrafo 5º do artigo 47, da Lei nº 14.309/02.

7.2 METODOLOGIA DE ANÁLISE

Na análise de conformidade com a legislação foram observados três cenários diferenciados em função do volume estimado de ferro gusa a ser produzido no estado de Minas Gerais. Cada um desses cenários representa especificações quanto à demanda por madeira de eucalipto plantado para suprimento de matéria prima para produção de carvão vegetal.

- Capacidade real de produção;
- Capacidade instalada;
- Substituição de todo o sistema baseado no uso de coque mineral por carvão vegetal;

O objetivo da análise foi definir se o estado de Minas Gerais possui capacidade de suporte em relação a sua produção de carvão vegetal com madeira de eucalipto para sustentar a demanda do setor de produção de ferro gusa nos três cenários. Os cálculos consideraram o total global de utilização de carvão vegetal produzido com madeira nativa permitido pelo Artigo 1º do Decreto Nº 44117, de 29 de Setembro de 2005 que é de 15,7%.

Os dados referentes a demanda pelo setor são compostos por dois grupos. O primeiro grupo é formado pelos resultados obtidos com a análise de fluxo de massa do capítulo seis que representa o padrão de consumo de madeira de eucalipto para produção de carvão vegetal destinado a termoredução de minério de ferro no estado de Minas Gerais. O segundo grupo foi formado pelos dados de produção de ferro gusa constantes no “Anuário Estatístico da Sindifer” para o ano base de 2004 (Sindifer, 2005) e os dados de consumo por setor de base florestal no estado de Minas Gerais constantes no anuário estatístico da Associação Mineira de Silvicultura – AMS (2005).

Os dados referentes a oferta de madeira de eucalipto foram obtidos junto ao “Inventário Florestal” no Estado de Minas Gerais para o ano base de 2005, executado por Scolforo e Carvalho (2006).

7.3 ANÁLISE DA CAPACIDADE DE SUPORTE

De acordo com o modelo matemático desenvolvido através da análise de fluxo de massa, para cada tonelada de ferro gusa são necessários 3,02 t de madeira de eucalipto e 0,0180 ha de área plantada com eucalipto. A área total plantada no estado de Minas Gerais é de 1.015.633,00 ha (Scolforo e Carvalho, 2006). Segundo a AMS (2005), do total plantado de eucalipto no Estado 69,01 % foi destinada a energia, e deste total 68,45 % foi destinado ao setor de produção de ferro gusa. Dessa forma a oferta estimada de área plantada para o setor de ferro gusa foi de 479758,06 ha. Os valores de produção de ferro gusa, existentes no anuário estatístico do Sindifer (2005) são apresentados na Tabela 7.1 por cenário analisado.

Tabela 7.1: Valores de produção de ferro gusa no Estado de Minas Gerais no ano de 2004.

Tipo de demanda	Capacidade efetiva de produção de gusa a carvão vegetal	Capacidade instalada de produção de gusa a carvão vegetal	Capacidade efetiva de produção de gusa a coque mineral
Produção de gusa (t/ ano)	5.888.430,00	7.782.700,00	45.637.264,44

Fonte: Sindifer 2005.

Considerando o uso total global permitido de madeira de floresta nativa pelo Artigo 1º do Decreto Nº 44117, de 29 de Setembro de 2005 que é de 15,7 %. Apresenta-se na Tabela 7.2 os valores da relação de oferta e demanda do setor de produção de ferro em função dos três cenários avaliados.

Tabela 7.2: Análise da capacidade de suporte do setor de base florestal para suprimento do setor de produção de ferro gusa no estado de Minas Gerais em três níveis de demanda para o ano base de 2005.

Tipo de demanda	Demanda para madeira de eucalipto (t / ano)	Oferta de madeira de eucalipto (t / ano)	Demanda para área de plantio com eucalipto (ha / ano)	Oferta de área de plantio com eucalipto (ha / ano)	Relação entre a oferta e a demanda (%)
Capacidade efetiva de produção de gusa a carvão vegetal	14.991.118,40	11.498.963,74	89351,04	68536,87	-23,29
Capacidade instalada de produção de gusa a carvão vegetal	19.813.664,62	11.498.963,74	118094,68	68536,87	-41,96
Capacidade efetiva de produção de gusa a coque mineral	116.186.086,05	0,00	692499,85	0,00	-100,00

Analisando as estimativas, observa-se que não existe viabilidade de cumprimento do “Plano de Auto Suprimento” no estado de Minas Gerais através do uso de madeira plantada proveniente do próprio estado. A única possibilidade é a importação desta matéria prima de outras unidades da federação. Mas se considerarmos o déficit de madeira de eucalipto para todas as atividades de base florestal como descrito por Bacha & Barros (2004) e (Valverde,

2001), podemos considerar esse déficit como indicador do uso de carvão vegetal não autorizado por este setor.

A Tabela 7.3 apresenta os valores em área de plantio necessários para que o estado de Minas Gerais seja capaz de ofertar a madeira necessária para o cumprimento do Artigo 1º do Decreto N° 44117 sem alteração de nenhum outro fator de produção. Ou seja, mantendo o consumo máximo de 15,7 % do total de madeira demandado, utilizando carvão de origem nativa e desconsiderando mudanças significativas nos valores de produção de ferro gusa a carvão vegetal, de capacidade produtiva dos plantios, e do rendimento na produção de carvão vegetal e no processo de termo redução.

Tabela 7.3: Valores de incremento de área de plantio de eucalipto, necessária para normalizar a oferta de madeira de eucalipto plantado no Estado de Minas Gerais, para o setor de carvão vegetal destinado a termoredução de ferro gusa no Estado de Minas Gerais por demanda específica.

Tipo de demanda	Capacidade efetiva de produção de gusa a carvão vegetal	Capacidade instalada de produção de gusa a carvão vegetal	Capacidade efetiva de produção de gusa a coque mineral
Incremento de área ha/ ano	21.000,00	49.577,81	692.499,85
Tempo estimado para normalização (anos)	7	7	7
Área total a ser implantada (ha)	147.000,00	346.904,67	4.847.498,95

Assim, para normalizar a situação em sete anos que é o tempo necessário para o corte das novas plantações (ciclo de corte), seria necessário para a atual capacidade de produção do setor ferro gusa um incremento de 214,50 % em relação à atual área plantada destinada a esse uso. Caso todo o eucalipto plantado existente hoje fosse destinado a produção de carvão vegetal, esse incremento seria da ordem de 14,50 %. Para uso de toda a atual capacidade instalada de produção de ferro gusa a base de carvão vegetal seria necessário

um incremento de 506,15 %. E caso todo o eucalipto plantado existente hoje, fosse destinado a produção de carvão vegetal para termoredução, esse incremento seria da ordem de 34,16 % em relação à atual área plantada. No caso do Estado desejar substituir toda a capacidade real de produção baseada no uso de coque mineral pela tecnologia a base de carvão vegetal, seria necessário um incremento na ordem de 7072,83 % da atual área plantada com eucalipto. E se todo o eucalipto plantado existente hoje, fosse destinado a produção de carvão vegetal para termo redução, esse incremento seria da ordem de 477,29 % em relação à atual área plantada.

7.4 CONCLUSÕES

O estado de Minas Gerais necessita de políticas urgentes para fomentar o aumento da área plantada com eucalipto. Considerando apenas o setor de produção de ferro gusa a base de carvão vegetal em sua capacidade real de produção, existe um déficit significativo que já não permite ao estado cumprir com a sua própria legislação ambiental utilizando sua própria capacidade de produção de carvão vegetal com madeira de eucalipto.

Caso o setor de produção de ferro gusa a carvão vegetal aumente a sua capacidade de produção em função de algum atrativo no mercado, uma consequência será o aumento da pressão sobre os remanescentes de floresta nativa, ou o aumento da taxa de transição da tecnologia baseada no uso de carvão vegetal para a tecnologia baseada no uso de coque mineral.

Ambas as situações são negativas ao meio ambiente por permitir o aumento da extração ilegal de madeira nativa e o aumento dos índices de emissões atmosféricas carregadas de enxofre e carbono oriundo da queima de combustíveis fósseis. E também representam a perda da possibilidade de incorporação de carbono da atmosfera.

A redução de um setor no qual o Brasil é detentor da melhor tecnologia e que pode permitir um aumento significativo do índice de empregos e incremento da economia regional do estado de Minas Gerais é economicamente negativo. E a isso também se deve somar a perda de um mercado com grande potencial de crescimento que é o mercado de crédito de carbono.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICA

AMS (2005) Anuário estatístico 2005: ANO BASE 2004, Belo horizonte, MG. 21p.

Bacha, C.JC.; Barros, A.L.M. (2004). Reflorestamento no Brasil: evolução recente e perspectivas para o futuro. Scientia Forestalis, n.66, p.191-203

IEF (2008) www2.ief.mg.gov.br/legislação/leisdec.asp (acesso em 15/06/2007)

Sindifer, (2005). **Anuário Estatístico: Ano base 2004**. Sindicato da Indústria de Ferro Gusa de Minas Gerais, FIEMG, Belo Horizonte, Minas Gerais. p.23

Scolforo e Carvalho (2006) Mapeamento e inventário da florea nativa e dos reflorestamentos de Minas Gerais. Lavras, UFLA. 288p. ISBN 85-87692-31-3

Valverde, S. (2001) Colección, análisis y presentación de información socioeconómica: Brasil. FAO, GCP/RLA/133/EC. 22 p.

8. AVALIAÇÃO AMBIENTAL DA CADEIA DE PRODUÇÃO DE FERRO GUSA EM MINAS GERAIS ATRAVÉS DA “ANÁLISE DE CICLO DE VIDA –ACV”

8.1 INTRODUÇÃO

Foram analisados os impactos ambientais da cadeia de produção de ferro gusa a base de carvão vegetal no estado de Minas Gerais, e avaliadas as possibilidades de melhorias para redução destes impactos. Para a avaliação foi utilizada a metodologia Análise de Ciclo de Vida – ACV aplicada através do uso do Software GaBi 4.

Os dados utilizados são os constantes da análise de fluxo de massa do capítulo seis. As categorias de impacto utilizadas foram “CML2001 – Global Warming Potential (100 years)” e “CML2001 – Photochemical Ozone Creation Potential – POCP”. Como essa cadeia utiliza um recurso renovável capaz de incorporar carbono da atmosfera (plantações de eucalipto), o balanço de CO₂ equivalente é negativo e isso representa um benefício para o meio ambiente. Mas mais pode ser feito para melhorar o comportamento ambiental desta cadeia observando a questão do aquecimento global. Em relação a categoria de impacto POCP, o balanço de etano equivalente é positivo e representa um impacto negativo para o meio ambiente. Para essa categoria de impacto a redução do seu efeito negativo pode ser alcançada através do uso de tecnologia já existente no setor. Uma alternativa é o uso de gases orgânicos originados do processo de termo redução para produção de energia elétrica através de usinas termo elétricas. Esse é um procedimento que depende do aumento da consciência ambiental dos agentes decisórios que incluem as empresas geradoras do impacto e do estado através de suas políticas públicas.

8.2 ANÁLISE DO CICLO DE VIDA - ACV

A Análise de Ciclo de Vida - ACV segundo Curran (1996) é uma ferramenta para avaliar as conseqüências ambientais de um produto do seu início ao fim. O ciclo de vida do produto

compreende geralmente aspectos diversos como extração do recurso, manufaturação dos materiais, energia consumida para industrialização e manutenção e tratamento dos resíduos. A ACV estuda os fluxos materiais associados com uma unidade funcional do produto. Os fluxos calculados conseqüentemente não representam os fluxos totais do sistema econômico ambiental.

Do ponto de vista decisório, a ACV é uma ferramenta que auxilia a tomada de decisão visando avaliar as possíveis conseqüências das ações da empresa e identificar as possíveis melhorias nos mais diversos campos das atividades produtivas que interajam em relação as questões ambientais (Curran, 1996; Graedel, 1997).

Os objetivos da ACV de acordo com a SETAC (1993), são:

- (1) Retratar as interações entre o processo considerado e o ambiente;
- (2) Contribuir para o entendimento da natureza global e independente das conseqüências das atividades humanas sobre o ambiente;
- (3) Produzir informações objetivas que permitam identificar oportunidades para melhorias ambientais;

A ACV é normalizada pela série ISO 14040 (ISO 1996), que define a ACV como a compilação e valoração das entradas e saídas de materiais, em função dos impactos ambientais potenciais de um sistema de produto, através do seu ciclo de vida. Sendo composto por quatro etapas:

1. Definição do objetivo e escopo: O objetivo especifica a aplicação pretendida, bem como os motivos para a elaboração do estudo, além de incluir as audiências pretendidas. No escopo devem ser considerados os seguintes itens: a função do sistema, a unidade funcional, o sistema a ser estudado, as fronteiras do sistema, as regras de alocação, a extensão e o tipo de avaliação de impacto a ser usada, os dados requeridos, as hipóteses feitas, as limitações do estudo, os requisitos iniciais de qualidade de dados, o tipo de revisão crítica e o tipo de relatório requerido.

2. Inventário do Ciclo de Vida – ICV: estudam-se os fluxos de energia e materiais para a identificação e quantificação das entradas (consumo de recursos naturais) e saídas (emissões para o ar, água e solo) associados a um produto durante todo o seu ciclo de vida.
3. Avaliação de impactos do Ciclo de Vida – AICV: esses fluxos de recursos e emissões são caracterizados segundo uma série definida de indicadores de impacto ambiental, geralmente: energia incorporada, emissões, consumo de recursos, potencial para reciclagem e toxicidade. p.e.: a etapa de avaliação de impactos relaciona a emissão de CO₂, um fluxo, ao aquecimento global
4. Interpretação dos resultados: Identifica e analisa os resultados obtidos das fases anteriores, permitindo identificar, determinar e relatar as opções que tem maior potencial para reduzir o impacto ambiental do sistema em que está inserido o produto. Ou seja, confronta os impactos resultantes com as metas propostas na na definição do escopo.

De acordo com Yamamoto & Matsumoto (1998) através da ACV pode-se analisar outros itens ligados ao ciclo de vida do empreendimento, tal como o “Custo do Ciclo de Vida” e a “Energia do Ciclo de Vida”.

8.3 METODOLOGIA DE AVALIAÇÃO

Os dados utilizados são os constantes da AFM do capítulo seis. A “unidade funcional” definida para a análise foi uma tonelada de ferro gusa “posto pátio”, pronto para comercialização. O limite de entrada do sistema são as florestas de eucalipto destinadas à produção de carvão vegetal no estado de Minas Gerais e o limite de saída é o pátio de armazenamento do ferro gusa produzido utilizando carvão vegetal. O objetivo da análise é a avaliação da representatividade das categorias de impacto constantes na metodologia CML 2 em relação ao processo de produção de ferro gusa que utiliza carvão vegetal como termo reductor no estado de Minas Gerais. E avaliar os impactos desta cadeia de produção normalizada em relação à contribuição mundial.

Para avaliação dos impactos foi utilizado o software “GaBi 4” desenvolvido no Laboratório de Engenharia de Ciclo de Vida da Universidade de Stuttgart (Alemanha).

8.4 AVALIAÇÃO DE IMPACTOS AMBIENTAIS

A Figura 8.1 mostra o fluxo de massa modelado pelo programa “GaBi 4” de acordo com o inventário realizado nas empresas que compõe a cadeia produtiva de ferro gusa no estado de Minas Gerais.

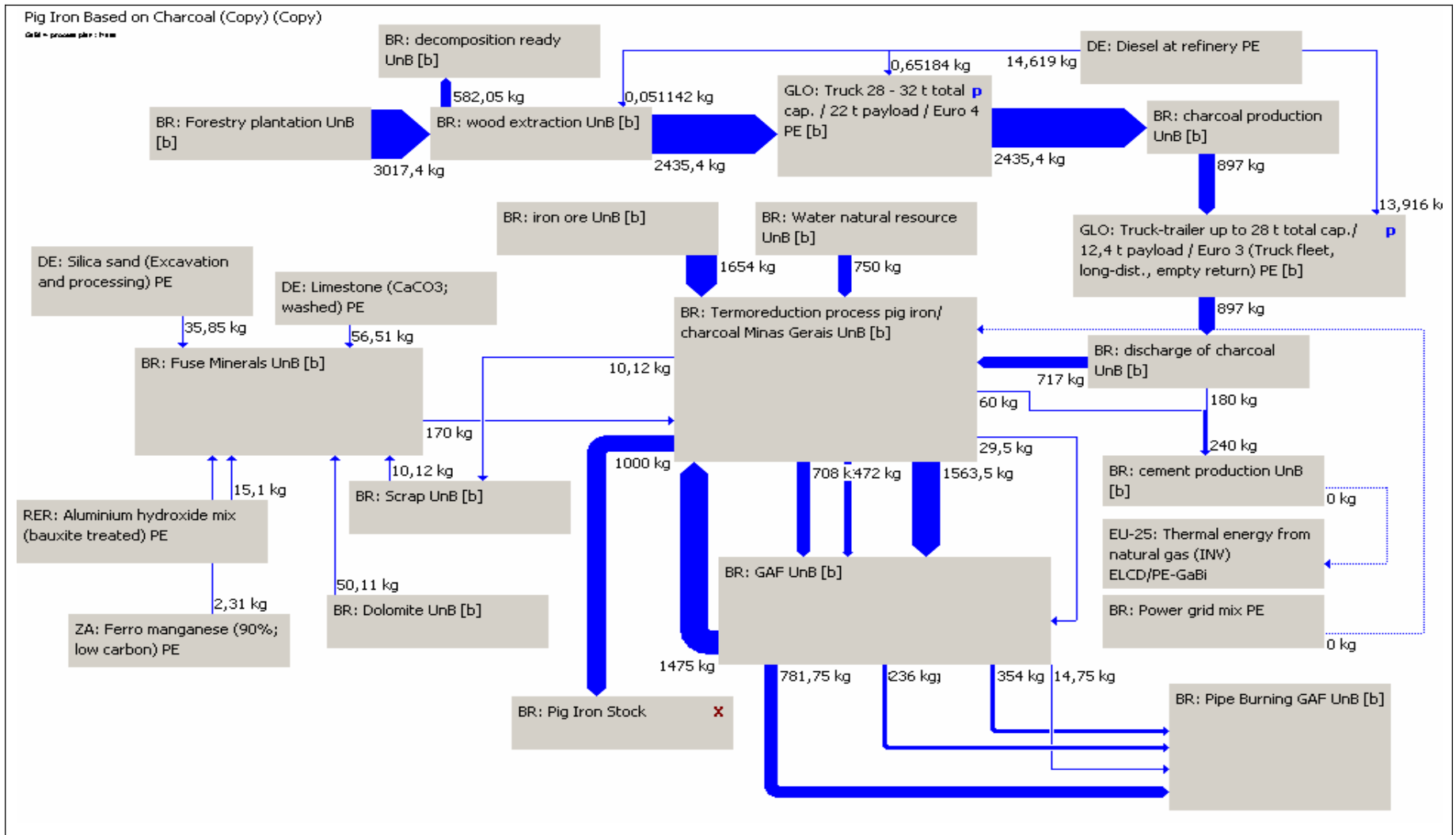


Figura 8.1: Fluxograma do fluxo de massa da cadeia de produção de ferro gusa baseado no uso de carvão vegetal no estado de Minas Gerais utilizando uma tonelada de ferro gusa como unidade funcional e o carvão vegetal como principal matéria.

Primeiramente foi executada a análise da contribuição dos diferentes passos do processo de produção em relação as diferentes categorias de impacto. Observaram-se os fluxos mais significativos no modelo de balanço de materiais na cadeia produtiva de ferro gusa baseado no uso de carvão vegetal. Para isso utilizou-se a ferramenta de análise de pontos críticos existente no software GaBi 4, (Tabela 8.1).

Tabela 8.1: Resultados da análise de significância sobre os fluxos mássicos do balanço de materiais na forma agregada de acordo com o software GaBi 4.

Categoria de fluxo	Substancia	Significância do fluxo (%)	
		Entrada	Saída
Recursos renováveis	CO ₂	99,60	
Emissões inorgânicas	CO ₂		18,40
Emissões inorgânicas	CO		17,00
Emissões orgânicas	HC		64,1
Total		99,60	99,50

Na avaliação dos fluxos, os valores mais significantes estão relacionados a emissões inorgânicas (CO₂ e CO) e emissões orgânicas (HC). Em função dos resultados obtidos foram consideradas as duas categorias de impacto apresentadas abaixo:

- “CML2001, Global Warming Potential (GWP 100 years)”
- “CML2001, Photochemistry Ozone Creation Potential (POCP)”.

O “GWP” está diretamente ligado às emissões orgânicas do tipo CO₂ e CO. Da mesma forma, o “POCP” está diretamente ligado às emissões orgânicas como HC. Foi encontrada no balanço significativa quantidade de entrada de CO₂ na forma de recurso natural em função da incorporação de carbono ocorrido durante o crescimento das formações florestais. Devido a este valor ser encontrado como entrada, na avaliação da performance ambiental ele foi considerado como crédito devido a redução do impacto GWP (redução da quantidade de gás carbônico na atmosfera).

8.4.1 Análise do potencial de aquecimento global

Na análise das entradas utilizando a categoria de impacto “CML2001, Global Warming Potential (GWP 100 years)”, foram considerados como principais processos que possuem influência sobre essa categoria de impacto três processos existentes no modelo de balanço como um todo. Os nomes dos respectivos processos, sua categoria e a significância do impacto observando o processo em relação ao aquecimento global são apresentados na Tabela 8.2.

Tabela 8.2: Categoria, quantidade (kg CO₂ – Equiv) e percentagem dos mais relevantes processos de entrada no balanço de materiais da cadeia produtiva de ferro gusa do estado de Minas Gerais baseado no uso de carvão vegetal.

Categoria	Processo					
	Reflorestamento		GAF		Queima do GAF	
	kg CO ₂ – Equiv	%	kg CO ₂ – Equiv	%	kg CO ₂ – Equiv	%
Emissões atmosféricas inorgânicas	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Emissões atmosféricas orgânicas (grupo VOC)	0,00	0,00	678,50	10,30	339,25	5,13
Recursos renováveis (Dióxido de carbono)	5585,19	84,50	0,00	0,00	0,00	0,00
Total	6602,94 kg – 99,73%					

Onde: GAF = Gás de Alto Forno

No caso da cadeia produtiva de ferro a base de carvão vegetal originado de plantações de *Eucalyptus sp.*, todas as entradas relacionadas ao aquecimento global foram consideradas como créditos. Observando o processo de plantio florestal a razão para considerar CO₂ como créditos ocorre em função da retirada de carbono durante o processo de fotossíntese. A diferença positiva no processo exige estudo mais aprofundado. Isso por que se supõe-se que o fator responsável deva ser a manutenção das raízes subterrâneas após a colheita. E este procedimento deve contribuir para a estocagem de C, já que o processo de decomposição em meio anaeróbico ocorre em taxas mais lentas do que em meio aeróbico como no caso da parte área não utilizada na produção de carvão vegetal. A qual é decomposta sobre o solo, liberando CO₂ para a atmosfera. Em relação ao processo de reuso do GAF, a razão do reconhecimento como crédito é função da ocorrência de reuso de parte

desse gás originado do processo de termo redução em um sistema de ciclo fechado e dessa forma parte das emissões são evitadas. No caso do processo de queima do GAF excedente sem uso, a razão para a contribuição negativa ao impacto, é a eliminação do monóxido de carbono da composição total do GAF gerado, ocorrendo a redução do efeito total do processo sobre o aquecimento global. Na análise das saídas, os principais processos que exercem influência são apresentados na Tabela 8.3.

Tabela 8.3: Categoria, quantidade (Q) em “kg CO₂ – Equiv” e percentagem dos mais relevantes processos de saída no balanço de materiais da cadeia produtiva de ferro gusa do estado de Minas Gerais baseado no uso de carvão vegetal.

	Processo													
	Produção de carvão		Decomposição		Energia elétrica		Termo redução		GAF		Queima de GAF		Produção de cimento	
	(Q)	%	(Q)	%	(Q)	%	(Q)	%	(Q)	%	(Q)	%	(Q)	%
Emissões inorgânicas	267,3	6,0	664,5	15,0	84,6	1,9	0,0	0,0	0,0	0,00	344,0	7,7	183,7	4,1
Emissões orgânicas	866,5	19,5	0,0	0,0	0,6	0,0	678,5	15,3	339,2	7,6	949,9	21,4	0,0	0,0
Total	4378,01kg – 98,60%													

Os impactos da produção de cimento são originados no uso dos resíduos de carvão da termoredução para geração de energia. Esse uso libera emissões inorgânicas e orgânicas para a atmosfera. Da mesma forma, durante o processo de produção de carvão vegetal sem recuperação dos gases condensáveis ocorre a liberação de gases inorgânicos e orgânicos. Em relação à decomposição da massa aérea não aproveitada, deve-se ressaltar que é um processo natural onde ocorre a liberação de gases orgânicos e inorgânicos e que seu uso na cobertura do solo da área de plantio possui benefícios em relação a reciclagem de nutrientes e manutenção da camada orgânica sobre o solo auxiliando no balanço hídrico do mesmo. Mas devido a contribuição positiva para o “GWP”, se deve considerar outras utilizações que permitam uma relação custo/ benefício ambiental mais positiva. Em relação à queima dos gases excedentes oriundos do processo de termoredução, apesar da eliminação do monóxido de carbono existem outros gases inorgânicos e orgânicos que se mantém na composição do gás que é emitido. Da mesma forma o uso do gás excedente na produção de energia elétrica (termo-energia), contribui positivamente para o meio ambiente. Mas não em função da redução das emissões de gases para a atmosfera, já este se mantém com a mesma composição e quantidade dos compostos orgânicos e inorgânicos após a queima na

chaminé. A contribuição é reflexo da redução da demanda por outras fontes de energia associado ao caráter de recurso de fonte renovável (carvão vegetal).

A contribuição positiva sobre o impacto em relação ao consumo de energia elétrica tem a sua origem no processo de produção dessa energia. No Brasil, a energia elétrica é em sua maioria de origem hidroelétrica, dessa forma os impactos ocorrem devido a implantação e conseqüências das estruturas de captação de água e geração de energia (usinas hidrelétricas). A termoredução tem seus impactos relacionados com a queima do carvão vegetal. Mas deve-se ressaltar que a queima de coque mineral, em relação a essa categoria de impacto ambiental tem conseqüências ambientalmente negativas maiores devido a presença de enxofre na composição dos gases emitidos e o caráter não renovável do recurso utilizado.

Na Figura 8.2 são mostrados todos os processos e suas respectivas influências sobre a categoria de impacto “GWP”. Quando a influência é negativa se considerada como crédito ao meio ambiente pois ocorre a redução das emissões ou incorporação de carbono da atmosfera. Quando a influência é positiva ao impacto é considerado como débito, pois representa aumento das concentrações de carbonetos na atmosfera.

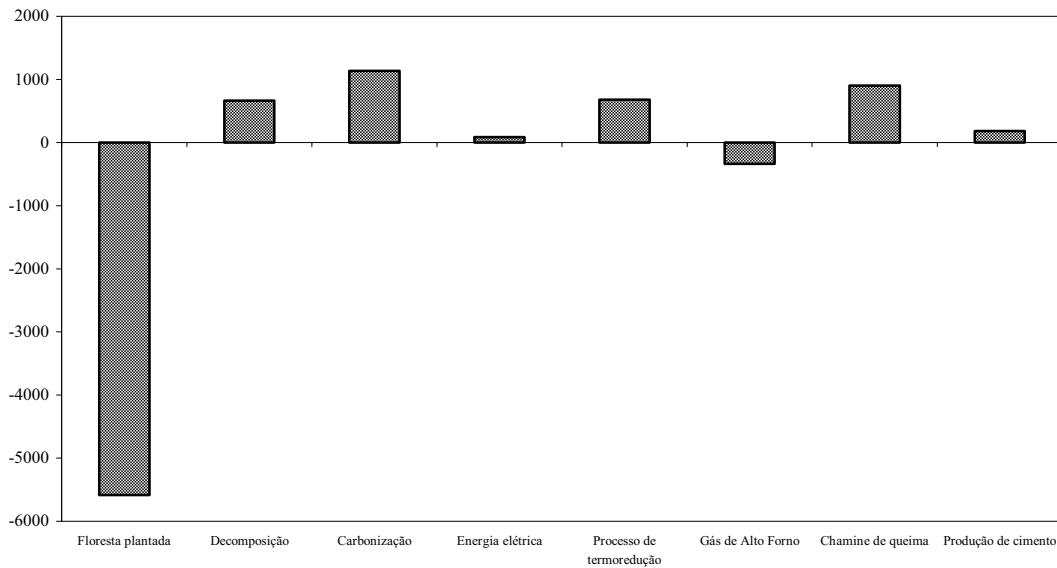


Figura 8.2: Influência dos processos de produção de ferro gusa baseado no uso de carvão vegetal observando a categoria de impacto relacionada ao aquecimento global (kg CO2 equiv.).

8.4.2 Análise do “Potencial de criação de Ozônio Fotoquímico” - POCP

Na análise das entradas avaliando a categoria de impacto determinada “Photochemical Ozone Creation Potential (POCP)”, identificou-se apenas um processo com influência sobre o balanço como um todo que é o reuso de parte do excedente do GAF produzido no processo de termoredução no próprio processo e dessa forma reduzir as emissões atmosféricas totais dos gases relacionados a essa categoria de impacto. A contribuição relativa deste impacto observando todas as categorias de impacto considerando o balanço total de massa foi de 1,16%. O processo, sua categoria a quantidade do impacto e sua significância observando o processo como um todo é mostrado na Tabela 8.4.

Tabela 8.4: Processo, categoria, quantidade (Q) em “kg ethane – Equiv” e significância nas entradas do balanço de materiais da cadeia produtiva de ferro gusa do estado de Minas Gerais baseado no uso de carvão vegetal.

	Processo	
	GAF	
Categoria de impacto	kg etileno – equiv.	(%)
Emissões orgânicas atmosféricas (grupo VOC)	0,18	1,16
Total	0,18 kg etileno – equiv. – 1,16%	

Na análise das saídas utilizando o “CML2001, Global Photochemistry Ozone Creation Potential (POCP)”, os processos relevantes identificados, a sua categoria de impacto e a significância dos mesmos em relação ao balanço de massa como um todo é apresentado na tabela 8.5.

Tabela 8.5: Categoria, “kg Etileno-Equiv.” e percentagem das saídas relevantes no balanço de massa da cadeia produtiva de ferro gusa do estado de Minas Gerais a base carvão vegetal

	Processo			
	Produção de carvão		Chaminé de queima	
Categoria de impacto	kg etileno-equiv	%	kg etileno-equiv	%
Emissões inorgânicas atmosféricas	5,04	27,77	0,00	0,00
Emissões orgânicas atmosféricas (grupo VOC)	6,10	33,65	6,69	36,89
Total	18,31 (kg etileno-equiv.) – 98,31 (%)			

A razão para a ocorrência da emissão de gases orgânicos e inorgânicos na produção de carvão vegetal é a não recuperação dos gases condensáveis gerados nesse processo. Em relação a chaminé de queima a eliminação do monóxido de carbono não tem significância para essa categoria de impacto (POCP) pois não tem influência sobre hidrocarbonetos.

A Figura 8.3 mostra o balanço entre créditos e débitos dos processos que possuem influência sobre o “Potencial de Criação de Ozônio Fotoquímico”. Valores negativos indicam créditos e valores positivos indicam débitos.

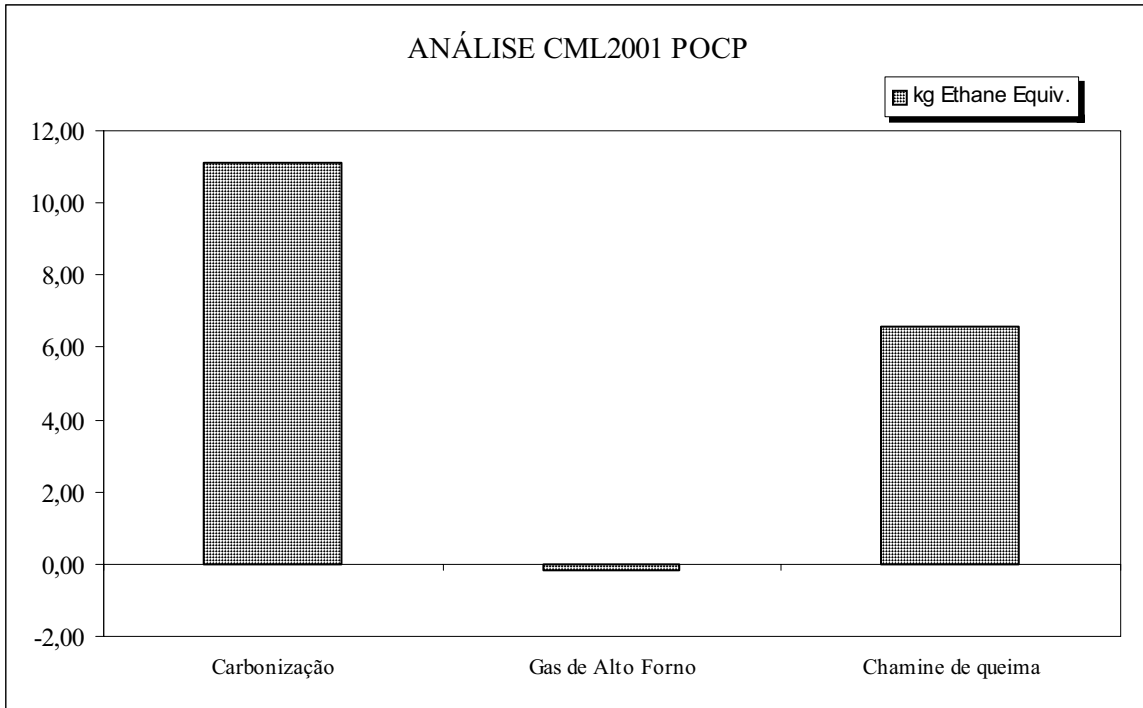


Figura 8.3: Balanço entre créditos e débitos dos processos que possuem influência sobre o “Potencial de Criação de Ozônio Fotoquímico”.

8.5 CONCLUSÕES

A cadeia de produção de ferro gusa a base de carvão vegetal é uma oportunidade de melhorar a cadeia produtiva de ferro e aço como um todo. Atualmente não são utilizadas as tecnologias mais adequadas em diferentes fases do processo p.e. produção de carvão vegetal, termo redução de minério de ferro.

O uso de matéria prima renovável capaz de incorporar carbono da atmosfera, traz maior sustentabilidade ambiental ao processo de obtenção de ferro gusa e conseqüentemente aço. É possível aumentar a sustentabilidade através da utilização de tecnologias mais limpas na produção de carvão vegetal e no processo de termo redução. No caso da produção de carvão vegetal, se deve focar a recuperação dos gases condensáveis, reduzindo a emissão de carbonetos e hidrocarbonetos e gerando subprodutos comercializáveis. No caso do processo de termoredução, o ganho ambiental está principalmente na contribuição da matriz energética utilizando fonte renovável de matéria prima.

O não uso dessas tecnologias é tecnicamente possível, mas não ocorrem devido a questões econômicas. O preço do coque mineral é inferior ao do carvão vegetal produzido com técnicas rudimentares. Dessa forma, investir em tecnologia se torna economicamente inviável em um primeiro momento, pois aumentaria o custo de produção do carvão e sua competitividade no mercado. Mas a comercialização dos subprodutos e a adição de valor ao produto final (ferro gusa e aço) devido a maior sustentabilidade ambiental do processo de produção é capaz de inverter essa situação. Faz-se necessário a mudança do conceito do empresariado desta cadeia em relação a investimentos de médio e longo prazo. Em relação a investimentos de longo prazo, devemos considerar também a escassez de recursos minerais em função da sua oferta limitada. E dessa forma o uso de um recurso com a capacidade de estoque renovável é outra grande vantagem competitiva.

Quanto ao processo de termoredução, o uso dos gases excedentes é tecnicamente viável e já é usado por algumas empresas. Mas falta por parte do Estado, um programa que permita aos empresários investirem na construção de usinas termoelétricas. O uso do gás não reduz os impactos diretos do processo de produção como o aquecimento global e a depleção do ozônio estratosférico, mas certamente contribuirá com a matriz energética do país, reduzindo a necessidade do uso de outras fontes de energia com impacto superior como o uso de combustíveis fósseis ou a hidroelétrica com significativo impacto sobre a fauna e a flora.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Curran, M.A., (1996) Environmental Life-Cycle Assessment. McGraw-Hill, New York.

Ferreira, J.V.R. (2004) Análise do ciclo de vida de produtos. Instituto Politécnico de Viseu, Portugal. 78p.

Graedel, T.E. (1997) Life cycle assessment in the service industries. Journal of Industrial Ecology Vol. 1, Nº 4, pp. 57-70

Yamamoto, Y, Matsumoto, H (1998) A Study on Life Cycle Analysis in Houses by the System Dynamics Method, Proceedings of the Tokai Branch of AIJ, pp.461-464,

ISO - International Organization for Standardization (1997). Environmental management – Life cycle assessment – Principles and framework – ISO 14040. Geneve. 12p.

SETAC - Society of Environmental Toxicology and Chemistry (1993) Guidelines for Life-Cycle Assessment: A Code of Practice, SETAC, Brussels.

Silva, J. G. (2005) Análise do ciclo de vida de tijolos prensados de escória de alto-forno. Dissertação (mestrado) – Universidade Federal do Espírito Santo, Centro Tecnológico. 226p.

9. ANÁLISE DAS FALHAS DE MERCADO NA PRODUÇÃO DE FERRO GUSA A CARVÃO VEGETAL NO ESTADO DE MINAS GERAIS

Neste capítulo foi apresentado as conclusões referente a identificação das externalidades existentes ao longo do fluxo de carvão vegetal produzido com madeira de eucalipto de floresta plantada, para termoredução do minério de ferro no estado de Minas Gerais. Para isso foram utilizados os resultados das análises de performance ambiental, conformidade com a legislação, e impacto ambiental apresentado nos capítulos 6, 7 e 8.

Para análise das falhas de mercado associadas as externalidades identificadas, observou-se o contexto histórico de desenvolvimento associado à análise econômica da cadeia de produção.

9.1 ANÁLISE DAS FALHAS DE MERCADO E O “PLANO DE AUTO-SUPRIMENTO – PAS” EM MG

Na análise de conformidade com a legislação foram observados três cenários diferenciados em função do volume estimado de ferro gusa a ser produzido no estado de Minas Gerais. Cada um desses cenários representa especificações quanto à demanda por madeira de eucalipto plantado para suprimento de matéria prima para produção de carvão vegetal.

Em todos os cenários, verificou-se déficit significativo na capacidade de suporte do setor florestal do estado para o auto-suprimento do setor com madeira de floresta plantada de eucalipto e conseqüente cumprimento da legislação vigente. Os resultados por setor são apresentados na Tabela 9.1.

Tabela 9.1: Análise da capacidade de suporte do setor de base florestal com madeira de eucalipto para produção de carvão vegetal destinado ao setor de produção de ferro gusa no estado de Minas Gerais em três níveis de demanda para o ano base de 2005.

Tipo de demanda	Demanda para madeira de eucalipto (t / ano)	Oferta de madeira de eucalipto (t / ano)	Demanda para área de plantio com eucalipto (ha / ano)	Oferta de área de plantio com eucalipto (ha / ano)	Relação entre a oferta e a demanda (%)
Capacidade efetiva de produção de gusa a carvão vegetal	14.991.118,40	11.498.963,74	89351,04	68536,87	-23,29
Capacidade instalada de produção de gusa a carvão vegetal	19.813.664,62	11.498.963,74	118094,68	68536,87	-41,96
Capacidade efetiva de produção de gusa a coque mineral	116.186.086,05	0,00	692499,85	0,00	-100,00

Na análise foi considerado o primeiro cenário que reflete a situação real existente. Pois todos os cenários se mostraram inviáveis e o que os diferenciou foi o tamanho da área necessária para viabilizar o cumprimento da legislação. Sendo as conseqüências as mesmas.

Para o primeiro cenário foi constatado, um déficit equivalente de 23,29 % de área plantada com eucalipto. É interessante observar que no anuário estatístico da AMS (2004), a porcentagem de uso de madeira nativa é de 28,3 %. Sendo que este valor engloba todo o carvão vegetal utilizado no estado de MG, e desta forma os valores são próximos. Para a análise devemos considerar também a estimativa da AMS (2005) de que 32 % do carvão consumido em Minas Gerais são de fora do estado.

Lembrando que os valores apresentados na Tabela 9.1, consideraram o desconto do valor máximo de uso de madeira nativa em acordo com o Artigo 1º do Decreto N° 44117 que é de 15,7 %. A existência de déficit é indicador claro de que existem externalidades em função da necessidade de suprimento por parte das empresas geradas devido a necessidade de complementação de sua demanda com o uso de madeira sem licenciamento. Essas externalidades têm cunho social (Girão, 2003; Dias et al, 2002) e ambiental. Nesta análise foram observadas as externalidades originadas por problemas

ambientais, e inicialmente citamos a pressão sobre os recursos florestais dos estados vizinhos e sobre remanescentes de florestas nativas do próprio estado de Minas Gerais sob proteção (áreas de reserva e de preservação permanente).

Essas externalidades representaram o reflexo da característica de “não exclusividade” dos recursos florestais naturais, quando desempenham papel de proteção dos recursos hídricos e edáficos. É certo que as áreas suprimidas possuem o direito de propriedade definido (posse da terra), e dessa forma não caberia o conceito de “não exclusividade”. Mas o conceito de “não exclusividade” aparece no momento em que as áreas suprimidas compõem áreas de reserva e de preservação ambiental que por lei representam áreas para proteção do meio ambiente e desta forma se tornam de interesse público, apesar de ter seu direito de propriedade definidos. E da mesma forma podem ser consideradas “não rivais”, como no caso das “Reservas Particulares do Patrimônio Natural - RPPN”. Dessa forma, quando as empresas produtoras de ferro gusa não são capazes de cumprir com o “Plano de Auto Suprimento – PAS” através do uso de florestas plantadas de eucalipto suprimindo a taxa de demanda existente. Elas externalizam seus impactos para os estados vizinhos ou para a sociedade de MG que arca com os custos de redução das áreas de florestas nativas, as quais podem incluir as áreas de conservação e preservação ambiental. Sendo que estas possuem funções de regulação e proteção dos recursos hídricos e edáficos, manutenção das condições climáticas, conservação de áreas para a observação de beleza cênica e preservação da biodiversidade.

Outra origem das externalidades é a ineficiência dos instrumentos de gestão ambiental utilizados. Os atuais instrumentos são baseados exclusivamente no sistema de “Comando e Controle” e falham em sua própria estrutura. A principal falha está na ausência de políticas de incentivo ao plantio comercial. Apesar da existência do Artigo 5º da Lei Nº 14.309, na prática ainda não existe nenhum mecanismo implantado.

Art. 5º - O poder público criará mecanismos de fomento a:

I - florestamento e reflorestamento, com o objetivo de:

a) favorecer o suprimento e o consumo de madeira, produtos lenhosos e subprodutos para uso industrial, comercial, doméstico e social;

b) minimizar o impacto da exploração e da utilização das formações vegetais nativas;

c) complementar programas de conservação do solo e de regeneração ou recomposição de áreas degradadas para incremento do potencial florestal do Estado, bem como de minimização da erosão do solo e do assoreamento de cursos de água naturais ou artificiais;

d) desenvolver projetos de pesquisa, educação e desenvolvimento tecnológico, visando à utilização de espécies nativas ou exóticas em programas de reflorestamento;

e) desenvolver programas de incentivo à transferência e à difusão de tecnologia e de métodos de gerenciamento;

f) promover e estimular a elaboração e a implantação de projetos para a recuperação de áreas em processo de desertificação;

g) promover e estimular a implantação de projetos para recuperação de áreas de reserva legal;

O uso de instrumentos de comando e controle se faz necessário pelas características do sistema que origina essas falhas, como a dimensão geográfica que engloba grande parte do estado de Minas Gerais e parte do estado da Bahia e de Goiás e também a existência de setores independentes compondo a cadeia de produção. Mas também é necessária a complementação através do uso de instrumentos econômicos que incentivem o plantio de maciços florestais próximos à região de produção de ferro gusa.

Lembrando que esses maciços não são implantados parte em função do preço não competitivo do carvão vegetal em relação ao coque mineral importado. E assim é necessário um sistema de subsídio por parte do governo que permita um valor competitivo do carvão vegetal que inclua a implantação de sistemas de carbonização com tecnologia de recuperação dos subprodutos gerados. E um segundo ponto a ser corrigido pelo Estado, é o sistema de financiamento de projetos florestais. Em função do longo prazo de retorno deste tipo de investimento as taxas de juros são elevadas, e tornam assim o uso de carvão nativo legal ou não, transportado por longas distâncias mais atrativo do que a produção de carvão vegetal utilizando madeira com origem em florestas plantadas. Pois em valor monetário, mesmo que ocorra a apreensão da carga e se faça necessário o pagamento de multas, o custo é inferior a implantação e

manutenção de florestas plantadas. Nesse sentido, o Estado deve incentivar a implantação de florestas plantadas através de linhas de crédito com juros menores.

9.2 ANÁLISE DAS FALHAS DE MERCADO ATRAVÉS DO BALANÇO DE MATERIAIS

O balanço de materiais reconhece a existência de limites no uso de recursos naturais. E a necessidade do uso de recursos renováveis, que permitam o fornecimento contínuo de matéria prima.

Analisando o gráfico da Figura 6.8, identifica-se como ponto crítico na relação de recursos renováveis (RRR), o processo de termo redução do minério de ferro para produção de ferro gusa. O principal fator é o uso do minério de ferro e minérios fundentes no processo. O uso destes recursos naturais não renováveis, na produção de ferro gusa não pode ser evitado já que o ferro gusa é o próprio minério de ferro reduzido. Mas deve-se considerar as externalidades geradas por este processo no que tange ao processo de extração dos minérios.

O impacto da abertura das minas tem conseqüências locais e periféricas. Os impactos locais surgem na geração de grandes áreas de exposição de solos estéreis em conseqüência da perda de áreas florestais naturais e da remoção de camadas profundas de solo. Para a recuperação das áreas de solo estéril já existem técnicas de recuperação mas ainda são processos onerosos e de longo prazo. Em relação aos impactos periféricos é reconhecida a emissão de material particulado na atmosfera, o qual em função das correntes de ar alcançam uma distancia considerável ao redor das minas podendo ocasionar problemas de saúde. Seja através da contaminação de recursos hídricos ou da geração de problemas respiratórios para a população das comunidades existentes nestes locais.

Quando observado o uso do ferro gusa que é a produção de aço modelado em diferentes produtos, estes produtos já são em parte manufaturados com o uso de sucata metálica

trabalhada principalmente em arcos elétricos de fundição. E desta forma, na produção de aço já ocorre o sistema do tipo “close loop”. Mas mesmo com a alta taxa de recuperação de sucata metálica, a demanda por matéria prima para produção de aço continua crescente e assim a substituição do ferro gusa por sucata reciclada não é uma solução eficiente. E deve-se considerar que a substituição total do ferro gusa por sucata metálica conduziria a eliminação de um setor produtivo significativo na economia do Estado. Desta forma, o Estado deve através de políticas públicas internalizar os custos dos impactos gerados pelas empresas mineradoras. A internalização de custos deve ser direcionada para a compensação dos danos gerados por esse tipo de atividade. Como a perda de áreas florestadas através da recuperação eficiente da área de exploração, e de geração de áreas compensatórias para o período em que as minas estejam em atividade.

Para a execução deste tipo de compensação deve-se fazer uso de instrumentos de “Comando e Controle” na elaboração de legislação específica assim como fiscalização da execução dos projetos de compensação. Em função da impossibilidade de substituição do minério de ferro por outra fonte de matéria prima em função da demanda crescente de aço, o uso de outros instrumentos econômicos deve ser feita na direção do incentivo a empresa em investir na pesquisa de nova tecnologia de exploração que permita a redução dos impactos gerados.

Em relação a eficiência em massa no uso dos materiais, a análise do gráfico da Figura 6.8, indica dois pontos críticos que são a produção de carvão vegetal e o processo de termo redução.

Na produção de carvão vegetal, a origem da ineficiência é a não utilização de processos que permitam a recuperação dos subprodutos oriundos dos gases condensáveis já citado na análise de conformidade com a legislação.

No caso do processo de termo redução, o primeiro fator é o uso de matéria prima e insumos com uma massa total superior cinco vezes aproximadamente em relação a massa de produto gerado identificado durante a análise de fluxo de massa. A redução da

ineficiência em massa nesta fase da cadeia de produção deve ser direcionada tanto ao uso dos subprodutos gerados, como para a melhoria do processo através da redução da massa de matéria prima e insumos utilizados.

Um dos subprodutos passíveis de utilização é o gás de alto forno gerado durante o processo de redução. Aproximadamente cinquenta por cento desse gás já é reutilizado para redução da quantidade de termo redutor (carvão vegetal) necessário ao processo. Os outros cinquenta por cento são queimados para redução do metano contido nele e então liberado para a atmosfera. E mesmo com a redução dos níveis de metano a quase zero, existem outros compostos que contribuem principalmente para o processo de aquecimento global em função da grande carga de carbonetos contidos no mesmo.

O “Gás de alto Forno – GAF” já é usado por poucas empresas do setor para cogeração de energia elétrica através de seu uso em reator térmico. Dessa forma, o uso desse gás não reduz os impactos em função das emissões atmosféricas mas permite a redução de impactos ambientais através da redução da demanda por energia elétrica oriunda de outras fontes com impactos específicos. Por tanto, a externalidade gerada pela emissão de carbonetos não é internalizada mas seu uso compensa possíveis externalidades ocasionadas durante o processo de produção de energia elétrica utilizando outras fontes.

Ressalta-se a importância dessa nova fonte de energia ao considerarmos a matriz energética brasileira, que demanda novas fontes de energia para a manutenção da sustentabilidade do crescimento econômico do país. E assim o Estado deve intervir através de instrumentos de incentivo ao uso do gás excedente na produção de energia elétrica. Mas não se deve esquecer que ainda estará ocorrendo a emissão de gases que contribuem para o aquecimento global, e desta forma deve ser aplicado paralelamente o incentivo à redução destas emissões.

Em relação às emissões, por se tratar de uma fonte de energia baseada em recursos renováveis (recursos florestais) é interessante considerar como medida compensatória para o processo de redução com ou sem cogeração de energia, a obrigação de executar

plantio de florestas em área excedente a área capaz de dar suporte a demanda por carvão vegetal da empresa de referência. E para as empresas que passarem a produzir a energia elétrica deve haver subsídios para a implantação da tecnologia de termoenergia, e nos juros para financiamento dos plantios de compensação considerando o valor da energia elétrica produzida e comercializada para terceiros.

Quanto à melhoria do rendimento em massa do processo, o esforço deve estar concentrado na promoção de tecnologias tanto para um sistema de produção com maior rendimento, como para maior uniformidade das características físico-químicas do carvão vegetal. Assim como também promover a melhoria da eficiência do processo de redução, como a diminuição da perda de água através do processo de resfriamento da carcaça do reator de termoredução (alto forno). O instrumento deve permitir as empresas a redução dos custos de implantação de tecnologias existentes através de compensações nos impostos e taxas ambientais devidos. Já que este procedimento estará internalizando os impactos na fonte e desta forma estará reduzindo a necessidade de atuação direta do Estado no processo de internalização dos impactos gerados.

No caso, da ineficiência do uso da massa durante o processo de exploração e colheita, a externalidade está na emissão de gases de efeito estufa durante o processo de decomposição da matéria orgânica. Nesse caso se deve avaliar a possível compensação dos custos ambientais, através do uso deste material como fonte de energia renovável em usinas termo elétricas. Diferentemente do gás de alto forno, esse procedimento contribui para a redução do impacto relacionado ao aquecimento global, pois ocorrerá a redução da emissão do gás metano. E de forma indireta irá reduzir a exemplo do uso do gás de alto forno para produção de energia elétrica, os impactos devidos a produção de energia elétrica através de outras fontes. Desta forma, o Estado deve buscar incentivar o comércio dos resíduos de madeira através de quotas compensatórias em função da redução das emissões de metano e em função da geração de energia elétrica a partir de recurso renovável. Mas deve também buscar medidas para o incentivo de tecnologias mais limpas de produção de energia através da queima de biomassa para que as emissões de carbonetos como o gás carbônico, também sejam reduzidas.

A perda da eficiência em massa durante o processo de descarregamento e peneiramento do carvão vegetal posto pátio na usina de produção de ferro gusa está diretamente relacionada com a falta de homogeneidade do carvão vegetal produzido e comercializado. A externalidade se dá na forma da emissão de material particulado para a atmosfera com impactos locais e periféricos, mas a sua internalização deve se dar através dos incentivos já discutidos em relação à implantação e uso de florestas plantadas e de um processo de carbonização com tecnologia mais adequada que permita a redução da heterogeneidade do material utilizado.

9.3 ANÁLISE DAS FALHAS DE MERCADO UTILIZANDO A ACV

Em relação aos impactos sobre o aquecimento global, foi possível confirmar as conclusões dos itens 9.1 e 9.2., mantendo assim as análises e conclusões anteriores. Ressalta-se a identificação de uma externalidade positiva devido ao uso de madeira oriunda de floresta plantada de eucalipto. Essa externalidade positiva é função do balanço geral da cadeia ser positivo ao meio ambiente ao observarmos o aquecimento global. Isso se deve a capacidade de armazenamento de carbono por parte das árvores durante a sua fase de crescimento e a manutenção de parte deste carbono nas raízes não superficiais (aprofundadas no solo) que por estarem em meio anaeróbico, sofrem um processo de decomposição lenta e com baixa taxa de emissão de carbono para a atmosfera. E desta forma, o uso de florestas plantadas para produção de carbono permite além das vantagens discutidas anteriormente em relação a redução dos impactos totais da cadeia de produção de ferro gusa como perda de biodiversidade, supressão de áreas de proteção de mananciais hídricos e manutenção de equilíbrio de microclima. Também permite a redução dos impactos sobre o meio ambiente em função do aquecimento global. E no caso da cadeia produtiva de ferro gusa, como indicado na Figura X.3, conclui-se que se observarmos o balanço geral da cadeia, em relação a essa categoria de impacto o saldo é positivo para o meio ambiente.

Na Figura 9.1, os valores negativos representam absorção de gás carbônico da atmosfera e valores positivos representam emissão de carbonetos para a atmosfera.

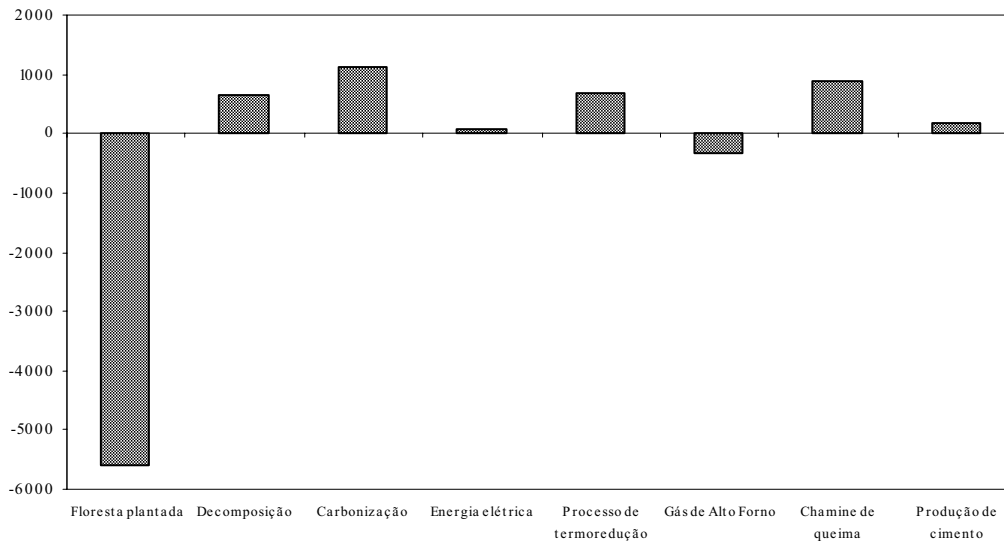


Figure 9.1: Influência dos processos de produção de ferro gusa baseado no uso de carvão vegetal observando a categoria de impacto relacionada ao aquecimento global GWP em kg CO2 equiv..

Assim, o uso de florestas plantadas de eucalipto deve se tornar uma oportunidade do estado para negociar os seus créditos no mercado mundial de carbono. E em função disso, o Estado tem mais um motivo para incentivar a atividade florestal e avaliar uma forma de compensação para os autores responsáveis por essa externalidade positiva.

Em relação à segunda categoria de impacto identificada “Potencial de Criação de Ozônio Fotoquímico –POCP”, a sua origem está na emissão de hidrocarbonetos durante os processos de carbonização e de termoredução como indicado na Figura 8.3. Apesar do efeito do impacto ser diferente, a origem e os procedimentos em relação a externalidade gerada são idênticos as discutidas para o impacto sobre o aquecimento global discutidas nos itens 9.1 e 9.2.

9.4 CONCLUSÕES

Ao analisarmos o histórico de desenvolvimento do setor de produção de ferro gusa e do setor de base florestal destinado à produção de carvão vegetal no estado de Minas Gerais. Conclui-se que os fatores geradores das externalidades identificadas através da

das metodologias baseadas na análise de fluxo de massa para avaliação dos impactos ambientais são gerados pelo modelo de produção existente. Que associa o uso do carvão vegetal exclusivamente a condição de matéria prima de baixo custo e não como recurso renovável com sustentabilidade ambiental em relação ao seu substituto o coque mineral.

Com relação ao aquecimento global o uso do carvão vegetal apresenta um comportamento positivo, desde que se faça uso de madeira oriunda de florestas plantadas. E adicionalmente esse comportamento positivo permite a essa cadeia de produção aumentar a sua receita através do comércio de crédito de carbono e a adição de valor a um produto já existente no mercado através da melhoria de suas características ambientalmente desejáveis, atendendo a demanda mundial por processos e produtos ambientalmente sustentáveis.

Para isso é necessária a intervenção do Estado, mas não somente no controle e fiscalização das atividades ambientalmente inadequadas como o uso de madeira com origem de florestas nativas e a baixa tecnologia no processo de produção. Mas prioritariamente o Estado deve buscar incentivar os agentes desta cadeia a mudança de comportamento, através da geração de condições de investimento em florestas plantadas e melhoria dos processos produtivos. Os impactos negativos se encontram no modelo de processo de produção e no alto custo de investimento em florestas plantadas, são os fatores onde encontramos soluções positivas para essa cadeia.

E o favorecimento para investimentos em tecnologias de produção de carvão vegetal é garantir no futuro, o abastecimento de matéria prima de um setor significativo na balança comercial nacional. Visto que recursos de origem fóssil como o carvão mineral, além de possuírem impactos ambientais maiores tem como certo o seu declínio até o esgotamento.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICA

Abraf (2006) ANUÁRIO ESTADÍSTICO DA ABRAF | 2006 - ANO BASE 2005
Brasília, DF. 2p.

AMS (2005) Anuário estatístico 2005 ANO BASE 2004, Belo Horizonte, MG 1p.

Andrade, M. L.A.; Cunha, M.S.; Gandra, C. (1999) Reestruturação na siderurgia.
REVDES setorial, n. 9. p. 3-44.

Amâncio, M. R. C.; Bandt, S. A.; Pereira, A. R. (1998) Modelo recursivo da oferta e
demanda de carvão vegetal para a siderurgia no estado de Minas Gerais. Brasil
Florestal, n. 6, p. 31-36.

Allenby B. (2000) Implementing industrial ecology: the Atomatrix system
Interfaces; 30, 3; INFORM Global pg. 42

Ayes, R.U., U.E. Simonis (Ed.) (1997) Industrial Metabolism. Restructuring for
Sustainable Development. United Nations University Press, Tokyo

Bacha, C.J.C.; Barros, A.M. (2004) Re florestamento no Brasil: evolução recente e
perspectivas para o futuro. *Scientia Forestalis*, n.66, p.19-203

Baccini, P., P. Brunner (1996) The metabolism of the anthroposphere. Springer, Berlin.

Coelho Junior, L.M.; Calegário, N.; Rezendes, J.L.P.; Sáfiadi, T. (2006 b) Análise
temporal do preço do carvão vegetal oriundo de floresta nativa e de floresta plantada.
Scientia Forestalis, n. 7, p. 39-48

Coelho Junior, L.M.; Oliveira, A. D.; Rezendes, J.L.P.; Sáfiadi, T. (2005) Análise dos
preços de carvão vegetal em quatro regiões no estado de Minas Gerais. *Cerne*, Lavras,
v. 11, n. 3, p. 23-29, jul.set.

Couto, L.; Müller, M.D.; Dias, A.N.; Fukamoto, A.A.; Fonseca, E.M.B. Corrêa,
M.R. (2002) Espaçamentos de plantio de espécies de rápido crescimento para
dendroenergia. *Belo Horizonte:CEMIG* 6p.

Couto, L.; Dubé, F. (2001) The status and practice of forestry in Brazil at the beginning
of the 21st century: A review. *The Forestry Chronicle*, 78-80.

Carvalho, R.M.M.A.; Soares, S.; Valverde, S.R. (2005) Caracterização do setor
florestal: uma abordagem comparativa com outros setores da economia. *Ciencia
Florestal*, Sta. Maria, V.15 nº. p.105-118 ISSN 0103-9

Cowen, T. (2000) Bens públicos e externalidades In: Henderson, D.; Neves, J.C. (2000)
The fortune encyclopedia of economics, Warner Books, Minneapolis, USA. 8 p.

- Dias, E.C.; Assunção, A.A.; Gerra, C.B; Prata, H.C. (2002) Processo de trabalho e saúde dos trabalhadores na produção artesanal de carvão vegetal em Minas Gerais, Brasil. Cad. De Saúde Pública, Rio de Janeiro, 18(1):269-277
- Fontes, A.A.; Silva, M.L.; Lima, J.E. (2005) Spatial price integration in the market of wood charcoal in Minas Gerais, Brasil. R. Árvore, Vicosa, MG. 29(nº6), p. 979-986
- Freires, F.M.; Gedes, A.P.S. (2003) Uma caracterização da logística inversa: estado da arte e perspectivas futuras. XI ENEGP, Ouro Preto, MG, Brasil. 8p.
- Girão, S. A. (2003) Do ideário desenvolvimentista ao universo social carvoeiro: 104 - 119. Dissertação de Mestrado, Departamento de História, Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, Campus de Dourados
- Gonçalves, M.E.; Martins, F.A.S. (2006) Logística reversa numa empresa de laminação de vidros: um estudo de caso. Estão e Produção, Vol. 13, nº3, São Carlos. 39-410.
- IB (2002) Projeção de extração vegetal e da Silvicultura. Ministério do planejamento, orçamento e gestão.
- MINAS-AMBIENTE (19) Pesquisa Tecnológica para Controle Ambiental em Unidades Independentes de Produção de Ferro Gusa: Diagnóstico. Belo Horizonte: CDN/CEEC/FEAM/UFMG 104p.
- Paiva, M. C. S. (2001) análise financeira do carvão vegetal e do coque na siderurgia mineira de 1991 a 1999. Vicosa, UFV, Dissertação de mestrado, 8 p.
- Paula, M. (19) Avaliação tecnológica da siderurgia brasileira. Rio de Janeiro: IEI - UFRJ (Dissertação de Mestrado)
- Sablowski, A. R. M. ; Vale, A. F; Martins, I. S., (2004) Análise da eficiência de produção em uma indústria de laminados e compensados. In: 3º Simpósio Brasileiro de Pós-graduação em Engenharia Florestal, 2004, Manaus. Inpa, v. 1. p. 142-144.
- Sindifer, (2004) Anuário Estatístico: Ano base 2003. Sindicato da Indústria de Ferro Gusa de Minas Gerais, FIEMG - Belo Horizonte, Minas Gerais. p.23
- Smith, E.B. (19) Determinação da rotação econômica para *Eucalyptus grandis* (W Hill ex Maiden), destinado à produção de carvão vegetal. Viçosa: Im p. Univ., 1996, (tese M.S.).
- Silva, O.M. ; Pereira, A.R. (19) Variação estacional dos preços de carvão vegetal no Estado de Minas Gerais. Revista Árvore, V.5n.2, p. 125-134
- Soares, N. S., Silva, M. I; Fontes, A. A. (2004) Análise econométrica do mercado brasileiro de carvão vegetal no período de 1991 a 2000. Scientia forestalis, n. 66, p.8 - 9
- Rezende, J.P.; Vale, A.B; Minette, L (19) Estudo comparativo da produção de carvão da vegetação nativa e de *Eucalyptus* spp.: relatório técnico. Viçosa: UFV, 1996.

Valverde, S. (2001) Colección, análisis y presentación de información socioeconómica:
Brasil. FAO, GP/RA/133EC. 22 p.

12. CONCLUSÕES FINAIS

A “Ecologia Industrial” busca difundir o conceito existente na natureza de equacionamento dos fluxos mássicos, baseados na lei da entropia onde a soma da massa e ou energia que entra no sistema (matéria prima e insumos) deve ser equivalente à soma da massa e ou energia dos produtos e subprodutos que saem do sistema. Entendendo que os subprodutos não devem representar resíduos ou emissões, mas matéria e ou energia de entrada em um sistema subsequente ou substituindo a fonte primária de recursos do próprio sistema de origem. Esse conceito pode ser aplicado para relações econômicas de cadeias produtivas com grande abrangência geográfica (macroeconomia), ou ser direcionada para atividades industriais de manufatura específicas (microeconomia). Os impactos dos processos produtivos são medidos na entrada do sistema principalmente através da quantificação da extração dos recursos do meio ambiente. Sendo que quanto menor essa pressão sobre os recursos mais eficiente será o processo observando a sua performance ambiental. Os impactos na saída estão associados as características das matérias componentes dos fluxos existentes, se observando a qualidade e quantidade das emissões e resíduos gerados por estas. Assim como nas características do produto gerado em função da sua capacidade de desmaterialização após o término de sua vida útil. Os impactos também podem ser traduzidos pela incapacidade do meio ambiente de absorver essas emissões, resíduos e produtos no final do seu ciclo de vida.

Ao focar o processo de produção em si (meio do sistema) se devem buscar as causas dos efeitos geradores dos impactos. Essas causas estão associadas não somente as características individuais de cada matéria com relação a sua composição física e química individualmente, mas também ao seu comportamento durante a interação entre os diferentes fluxos. Isso pode ser determinado pela eficiência no uso de sua massa, e da sua capacidade de renovação, seja em relação ao sistema de origem ou na sua utilização em sistemas subsequentes. A capacidade de renovação então pode ser medida pelo seu uso na substituição de algum recurso primário do sistema original (close loop), ou pela capacidade de utilização como recurso de um sistema de produção subsequente (open loop).

A economia ambiental tem a princípio a função de internalizar as desigualdades ocorridas na distribuição dos custos ambientais decorrentes dos impactos gerados pelas atividades econômicas. Certamente atua também na indução de um comportamento ambiental mais adequado dos atores envolvidos nos sistemas de produção. Através dessa indução, a economia ambiental é capaz de atuar diretamente sobre os impactos ambientais através da redução da sua ocorrência. De forma prática, a internalização dos custos se dá através da distribuição adequada dos custos com a penalização e imposição de limites às atividades impactantes. Por outro lado determinados instrumentos atuam no subsídio ou patrocínio de tecnologias menos impactantes.

Um exemplo da atuação conjunta dessas duas ciências na melhoria da performance ambiental de forma conjunta, tendo como base o balanço de materiais é a “Avaliação do Ciclo de Vida – ACV”. A ACV é a ferramenta desenvolvida dentro dos conceitos da EI, mais difundida atualmente na análise de impactos ambientais de sistemas produtivos. Ao mesmo tempo, é a base para o sistema de normalização ISO 14000, que descreve os procedimentos para aplicação dessa ferramenta na norma ISO 14044. Para a economia ambiental, procedimentos de certificação como a ISO 14000 são considerados como instrumentos voluntários de informação. E dessa forma capazes de induzir o agente a internalizar seus custos ambientais através de um processo de melhoria contínua e introdução de tecnologias ambientalmente mais adequadas que permitam a manutenção de seu certificado. Sendo esse certificado usado não somente como instrumento de informação a sociedade, mas também como forma de adicionar valor ao seu produto e acessar mercados mais restritos, pautados na demanda do mercado consumidor por produtos ambientalmente sustentáveis.

A aplicação do balanço de materiais através do uso da ferramenta denominada Análise do Fluxo de Massa – AFS se demonstrou eficiente na análise de performance ambiental através de todas as metodologias utilizadas.

Na análise de conformidade com a legislação ambiental o balanço de materiais foi capaz de avaliar o cumprimento em diferentes cenários. E assim demonstra eficiência não somente

no prognóstico do cumprimento mas também na identificação das causas da não conformidade, permitindo avaliar quais os procedimentos a serem adotados para a reestruturação do sistema visando a adequação a legislação.

Na valoração da performance ambiental com o indicador Sablowski 2 foram identificados os pontos componentes do fluxo, onde se deve atuar visando o aumento da eficiência no uso dos materiais e onde se devem buscar alternativas tecnológicas para a transformação de um subproduto em um produto aumentando o nível de renovação do conjunto de materiais envolvidos no processo. Ressalta-se que estes procedimentos permitem aos gestores de produção atuarem na otimização da linha de produção em relação a redução dos custos financeiros através da redução da demanda por matéria prima por unidade produzida, mas também na redução dos impactos ambientais com a redução da geração de resíduos e emissões através da geração de novos produtos. Sendo possível isso ser expresso pelo aumento da receita através do comércio de subprodutos para sistemas subsequentes. Ou redução dos custos através da substituição da matéria prima primária da linha de produção por matéria recuperada no final da linha ou da vida útil do produto gerado.

O uso da ACV já é reconhecidamente útil na análise de impactos ambientais de sistemas produtivos e identificação dos subprocessos responsáveis diretos por estes. Dessa forma essa análise reforça a eficiência do uso do balanço de materiais nesta metodologia já reconhecido pelo mercado. A aplicação do balanço de materiais na identificação das externalidades existentes e avaliação das falhas de mercado, permitiu reforçar o potencial da parceria entre a ciência denominada “Ecologia Industrial –EI” e “Economia Ambiental – EA” na direção do aumento da sustentabilidade dos sistemas produtivos.

Dessa forma conclui-se que é verdadeira a hipótese de que o balanço de materiais é capaz de identificar os impactos ambientais, seus pontos de ocorrência ao longo do sistema de produção e dar suporte para a proposição de procedimentos para a melhoria da performance ambiental observando diferentes metodologias de aplicação.