



"Strony te poświęcam mojemu dziadkowi, który nauczył mnie kochać książki i naukę, a który już zakończył swój czas na ziemi, nie może być obecny w tym momencie".

"I think I could turn and live with animals, they are so placid and self-contained:  
I stand and look at them long and long.  
They do not sweat and whine about their condition;  
They do not lie awake in the dark and weep for their sins;  
They do not make sick discussing their duty to God;  
Not one is dissatisfied-not one is demented with the mania of owning things;  
Not one kneels to another, nor to his kind that lived thousands of years ago;  
Not one is respectable or industrious over the whole earth."

(W. Withman - Animals)

"We are the hollow men  
We are the stuffed men  
Learning together  
Headpiece filled  
with straw..."  
(T.S. Eliot - The Hollow Men)

---

## AGRADECIMENTOS

---

Ao Prof. Ruy Bahia, pelo constante apoio técnico e por ser o responsável pela minha introdução no mundo dos recursos energéticos;

Ao Eng<sup>o</sup> Metalúrgico José Roberto Oliveira, pelo inestimável auxílio técnico prestado durante a elaboração do terceiro capítulo;

Ao Eng<sup>o</sup> Florestal Jorge Abrahão Furlan, pelo auxílio técnico prestado durante a elaboração do sétimo capítulo;

Ao Eng<sup>o</sup> Civil Luis Alberto Tello Arévalo, pelo auxílio permanente no uso dos softwares;

A Prof<sup>a</sup>. Giovana Nápoles por olhar as vírgulas;

Ao MSc. Jofre Batista de Oliveira, pelo auxílio técnico inestimável prestado durante a visita ao CETEC;

Ao Prof. Ildo Luis Sauer pela paciência;

A todos os que atiraram pedras, pois com elas calçam-se caminhos;

A minha família.

# ÍNDICE

Índice

Lista de Figuras

Lista de Tabelas

Lista de Gráficos

Lista de Siglas e Abreviaturas

Resumo

Abstract

|  |     |
|--|-----|
| Capítulo I: Introdução   | 01  |
| 1.1. motivação do trabalho   | 02  |
| 1.1.2. a utilização de biomassa (lenha) no mundo                               | 06  |
| 1.1.3. a utilização de biomassa (lenha) no Brasil                              | 14  |
| 1.2. objetivos do trabalho   | 15  |
| 1.3. metodologia   | 15  |
| 1.4. organização estrutural do trabalho  | 16  |
| 1.5. revisão bibliográfica   | 20  |
| 1.6. comentários finais  | 34  |
| Capítulo II: O Ferro-Gusa e a Economia   | 37  |
| 2.0. introdução  | 37  |
| 2.1. insumos à produção do gusa  | 38  |
| 2.2. a produção de ferro-gusa  | 47  |
| 2.3. custos de se produzir ferro-gusa  | 50  |
| 2.3.1. a formação dos custos do gusa   | 51  |
| 2.4. as relações de emprego na siderurgia a carvão vegetal                     | 56  |
| 2.4.1. a relação entre mão-de-obra e tonelada produzida                        | 57  |
| 2.5. o mercado de gusa   | 58  |
| 2.6. comentários finais  | 61  |
| Capítulo III: Análise dos Processos de Produção de Ferro-Gusa e Carvão Vegetal | 66  |
| 3.0. introdução  | 66  |
| 3.1. síntese do processo de produção do gusa                                   | 67  |
| 3.2. produção de carvão vegetal: discussão do processo                         | 68  |
| 3.2.1. características do carvão vegetal de outras espécies vegetais           | 74  |
| 3.2.2.1. resíduos após a carbonização  | 82  |
| 3.2.2.2. o comportamento dos componentes da madeira                            | 84  |
| 3.2.3. propriedades e características do carvão vegetal                        | 86  |
| 3.2.3.1. os compostos perdidos na transformação de lenha em carvão vegetal     | 90  |
| 3.3. os altos-fornos a carvão vegetal  | 102 |
| 3.3.1. fatores limitantes na produção dos altos-fornos                         | 104 |
| 3.3.2. sugestão para a melhor operação dos altos-fornos a carvão               | 105 |

|   |     |
|---|-----|
| vegetal   |     |
| 3.4. sugestões para a melhoria da eficiência na produção de gusa e carvão vegetal | 109 |
| 3.5. os fornos de carbonização mais comuns  | 111 |
| 3.6. comentários finais   | 120 |

## Capítulo IV: Produtos e Insumos Alternativos à Produção de Ferro-Gusa e Carvão Vegetal Florestal

|   |     |
|---|-----|
| 4.0. introdução   | 123 |
| 4.1. produtos de maior valor agregado   | 124 |
| 4.2. o gás natural na produção integrada  | 129 |
| 4.2.1. introdução   | 129 |
| 4.2.1.2. o fornecimento de gás natural  | 130 |
| 4.2.2.1. o fornecimento do gás de Urucu   | 132 |
| 4.2.1.3. a penetração de gás natural no mercado brasileiro  | 137 |
| 4.2.1.4. o atendimento de Carajás por gás natural   | 139 |
| 4.3. carvão mineral   | 140 |
| 4.3.1. introdução   | 140 |
| 4.3.2. características do carvão mineral  | 141 |
| 4.3.3. ferro-gusa, aço e carvão mineral   | 142 |
| 4.4. o coco de babaçu   | 144 |
| 4.4.1. introdução   | 144 |
| 4.4.2. distribuição geográfica do coco de babaçu  | 145 |
| 4.4.3. estrutura produtiva do coco de babaçu  | 145 |
| 4.4.3.1. produtividade dos babaçuais  | 146 |
| 4.4.4. aproveitamento do coco   | 147 |
| 4.4.5. comportamento metalúrgico em forno elétrico  | 149 |
| 4.4.6. o coco de babaçu como alternativo na siderurgia  | 153 |
| 4.4.6.1. rendimento do carvão de babaçu   | 155 |
| 4.4.6.2. viabilidade do emprego de carvão de babaçu em eletrometalurgia para emprego no Projeto Carajás | 156 |
| 4.4.6.3. cocos alternativos ao babaçu   | 157 |
| 4.4.6.3.1. usos de carbonização de outros cocos   | 158 |
| 4.4.7. críticas ao emprego do carvão de babaçu  | 160 |
| 4.4.8. os custos do carvão de babaçu  | 161 |
| 4.5. comentários finais   | 163 |

## Capítulo V: O Impacto Ambiental da Produção de Ferro-Gusa na Amazônia

|   |     |
|---|-----|
| 5.0. introdução                             | 169 |
| 5.1. poluição atmosférica                   | 171 |
| 5.2. o desmatamento                         | 173 |
| 5.2.1. desertificação                       | 184 |
| 5.3. impactos ambientais do reflorestamento | 186 |
| 5.4. comentários finais                     | 188 |

## Capítulo VI: As Implicações Sociais da Produção de Gusa

|                 |     |
|-----------------|-----|
| 6.0. introdução | 191 |
|-----------------|-----|

|  |     |
|--|-----|
| 6.1. cenário dos conflitos   | 191 |
| 6.1.1. grupos afetados   | 195 |
| 6.1.1.1. a questão indígena  | 196 |
| 6.1.1.2. os grupos indígenas atingidos                                 | 198 |
| 6.2. conflitos agrários X produção de insumos                          | 199 |
| 6.2.1. as tentativas de reforma agrária                                | 206 |
| 6.3. cenários futuros das áreas de conflito                            | 209 |
| 6.4. implicações sociais do reflorestamento                            | 213 |
| 6.5. comentários finais  | 215 |
| <br>   |     |
| Capítulo VII: A Floresta como Fonte de Energia e os Fatores Limitantes | 220 |
| 7.0. introdução  | 220 |
| 7.1. a natureza jurídica da floresta                                   | 221 |
| 7.1.1. as restrições da legislação florestal                           | 222 |
| 7.2. o potencial energético das florestas                              | 224 |
| 7.3. o fluxo da lenha e do carvão vegetal                              | 227 |
| 7.4. aspectos de uma unidade de produção de carvão vegetal             | 229 |
| 7.5. a exploração da floresta nativa                                   | 237 |
| 7.6. a floresta plantada   | 240 |
| 7.6.1. etapas  | 240 |
| 7.6.2. gerenciamento e tempo de corte                                  | 243 |
| 7.6.3. o custo da lenha e do carvão vegetal de floresta de eucalipto   | 246 |
| 7.6.4. cenários futuros para a produção de gusa                        | 262 |
| 7.7. comentários finais  | 265 |
| <br>   |     |
| Capítulo VIII: Conclusões  | 264 |
| 8.1. conclusões  | 264 |
| 8.1.1. quanto ao suprimento e a tecnologia                             | 264 |
| 8.1.2. quanto ao legal, ambiental e social                             | 272 |
| 8.2. recomendações   | 275 |
| <br>   |     |
| Anexo A: Unidades  | 282 |
| <br>   |     |
| Anexo B: Glossário   | 285 |
| <br>   |     |
| Anexo C: Equações  | 286 |
| <br>   |     |
| Anexo D: Insumos Florestais  | 287 |
| <br>   |     |
| Bibliografia   | 290 |
| <br>   |     |
| Apêndice   | i   |

## LISTA DE TABELAS

|  | Página |
|--|--------|
| Tabela 1.1 - Participação da lenha no consumo total de energia   | 7      |
| Tabela 1.2 - Estimativas de consumo de lenha   | 12     |
| Tabela 2.1 - Insumos necessários à produção de uma tonelada de ferro-gusa  | 38     |
| Tabela 2.2 - Consumo e compras de carvão mineral coqueificável (10 <sup>3</sup> t)   | 38     |
| Tabela 2.3 - Consumo específico de coque e de óleo combustível em alto-forno (kg/t gusa)   | 39     |
| Tabela 2.4 - Consumo de minério de ferro em siderurgia (10 <sup>3</sup> t)   | 39     |
| Tabela 2.5 - Consumo de manganês na siderurgia (10 <sup>3</sup> t)   | 39     |
| Tabela 2.6 - Consumo de dolomita na siderurgia (10 <sup>3</sup> t)   | 40     |
| Tabela 2.7 - Consumo de calcário na siderurgia (10 <sup>3</sup> t)   | 40     |
| Tabela 2.8 - Consumo de eletricidade na siderurgia (MWh)   | 40     |
| Tabela 2.9 - Consumo de óleo combustível e de óleo diesel na siderurgia (t)  | 41     |
| Tabela 2.10 - Consumo de insumos energéticos na siderurgia em IEP  | 41     |
| Tabela 2.11 - Consumo de carvão vegetal origem nativa e reflorestamento (10 <sup>3</sup> m <sup>3</sup> )                        | 43     |
| Tabela 2.12 - Consumo de carvão vegetal por Estado (10 <sup>3</sup> m <sup>3</sup> )   | 44     |
| Tabela 2.13 - Consumo de carvão vegetal segundo setores industriais (10 <sup>3</sup> m <sup>3</sup> )                            | 45     |
| Tabela 2.14 - Consumo percentual de carvão vegetal na siderurgia de Minas em relação ao Brasil (10 <sup>3</sup> m <sup>3</sup> ) | 45     |
| Tabela 2.15 - Consumo de carvão vegetal na produção de aço (10 <sup>3</sup> m <sup>3</sup> )                                     | 46     |
| Tabela 2.16 - Participação de carvão vegetal na produção de aço (10 <sup>3</sup> t)  | 46     |
| Tabela 2.16a - Posição do Brasil na produção mundial de aço (10 <sup>6</sup> t)  | 46     |
| Tabela 2.17 - Consumo de carvão vegetal na produção de ferro-ligas (10 <sup>3</sup> m <sup>3</sup> )                             | 47     |
| Tabela 2.18 - Participação de carvão vegetal na produção de ferro-ligas (t)  | 47     |
| Tabela 2.19 - Consumo de carvão vegetal no setor de ferro-gusa (10 <sup>3</sup> m <sup>3</sup> )                                 | 48     |
| Tabela 2.20 - Produção de ferro-gusa a coque e a carvão vegetal (t)  | 48     |
| Tabela 2.21 - Discriminação do setor siderúrgico a carvão vegetal  | 49     |
| Tabela 2.22 - Discriminação do subsetor de produtores independentes de ferro-gusa por Estado -                                   | 49     |
| Tabela 2.23 - Indicadores econômicos do setor siderúrgico  | 51     |
| Tabela 2.24 - Investimentos no setor siderúrgico (US\$ 10 <sup>6</sup> FOB)  | 51     |
| Tabela 2.25 - Impostos gerados na siderurgia a carvão vegetal (US\$ 10 <sup>6</sup> )  | 51     |
| Tabela 2.26 - Faturamento da siderurgia a carvão vegetal (US\$ 10 <sup>6</sup> )   | 52     |
| Tabela 2.27 - Parâmetros envolvidos na fabricação de gusa no Pólo Guseiro de Carajás   | 56     |
| Tabela 2.28 - Número de empregos na siderurgia   | 57     |
| Tabela 2.29 - Número de empregos na siderurgia a carvão vegetal  | 57     |
| Tabela 2.30 - Produção anual (t) por trabalhador na siderurgia a carvão vegetal  | 58     |
| Tabela 2.31 - Intensidade anual de carvão vegetal (m <sup>3</sup> )/t/por trabalhador na siderurgia a carvão vegetal             | 58     |
| Tabela 2.32 - Produção brasileira de gusa por empresa (10 <sup>3</sup> t)  | 59     |
| Tabela 2.33 - Produção brasileira de ferro-gusa, segundo o processo (10 <sup>3</sup> t)  | 60     |
| Tabela 2.34 - Tonelagem e destino das exportações de ferro-gusa, ano 1992  | 60     |
| Tabela 2.35 - Consumo aparente de ferro-gusa (10 <sup>3</sup> t)   | 61     |
| Tabela 2.36 - Aquisição e consumo de ferro-gusa pelo setor siderúrgico (10 <sup>3</sup> t)                                       | 61     |

|  |     |
|--|-----|
| Tabela 3.1 - Rendimento em carvão e carbono fixo   | 72  |
| Tabela 3.2 - Análise química imediata (base seca) segundo a temperatura de carbonização  | 72  |
| Tabela 3.3 - Rendimento em carvão, alcatrão e carbono fixo (base seca) em temperatura de 430° C, com várias taxas de aquecimento   | 73  |
| Tabela 3.4 - Análise química imediata de carvão (base seca) segundo várias taxas de aquecimento  | 73  |
| Tabela 3.5 - Espécies empregadas no experimento e volume médio em metro estéreo  | 74  |
| Tabela 3.6 - Rendimento em carvão (base seca) por espécie  | 75  |
| Tabela 3.7 - Análise química imediata do carvão  | 75  |
| Tabela 3.8 - Espécies estudadas na Floresta Nacional do Tapajós  | 77  |
| Tabela 3.9 - Rendimento gravimétrico, carbono fixo e materiais voláteis, segundo a espécie   | 78  |
| Tabela 3.10 - Cinzas, densidade e poder calorífico segundo a espécie vegetal   | 79  |
| Tabela 3.11 - Potencial total e acessível das florestas nativas brasileiras (Mt e MtEP)  | 80  |
| Tabela 3.12 - Rendimento característico segundo a formação vegetal   | 80  |
| Tabela 3.13 - Rendimento em carvão vegetal segundo a formação florestal  | 80  |
| Tabela 3.14 - Composição elementar (C,H e O) do carvão vegetal e rendimento segundo diversas temperaturas de carbonização  | 86  |
| Tabela 3.15 - Principais compostos perdidos na carbonização de madeira necessária à produção de 1 milhão t de ferro-gusa   | 91  |
| Tabela 3.16 - Compostos despreendidos do <i>E. grandis</i> via carbonização a 500° C   | 92  |
| Tabela 3.17 - Composição do alcatrão coletado em fornos de alvenaria   | 93  |
| Tabela 3.18 - Rendimento em alcatrão dos fornos de alvenaria - ACESITA   | 93  |
| Tabela 3.19 - Rendimento em alcatrão (kg/t lenha seca) segundo o tipo de recuperador   | 99  |
| Tabela 3.20 - Quadro síntese dos diversos tipos de fornos de carbonização  | 120 |
| Tabela 4.1 - Geração e aquisição de sucata na siderurgia (10 <sup>3</sup> t)   | 125 |
| Tabela 4.2 - Taxa de retorno a.a. (%) para projetos produtores de semi-acabados de aço (tarugos)   | 127 |
| Tabela 4.3 - Taxa de retorno a.a. (%) para projetos produtores de semi-acabados de aço (tarugos)   | 127 |
| Tabela 4.4 - Taxa de retorno a.a. (%) para projetos produtores de semi-elaborados de aço (placas)  | 128 |
| Tabela 4.5 - Taxa de retorno a.a. (%) para projetos produtores de semi-elaborados de aço (placas)  | 128 |
| Tabela 4.5 A - Investimento necessário à implantação de uma central de aço nas cidades de Marabá, Açailândia e Santa Inês - alto forno convencional (US\$/t.ano de tarugo)                   | 128 |
| Tabela 4.5 B - Investimento necessário à implantação de uma central de aço nas cidades de Marabá, Açailândia e Santa Inês - alto forno otimizado com injeção de finos (US\$/t.ano de tarugo) | 129 |
| Tabela 4.6 - Especificações das barcaças para transporte de gás natural  | 134 |
| Tabela 4.7 - Coeficiente de penetração do GN nos mercados do SE deslocando OC, OD e GLP  | 137 |
| Tabela 4.8 - Setores industriais que utilizam carvão mineral   | 141 |
| Tabela 4.9 - Rendimento de carvão de coco de babaçu segundo o tipo de forno  | 155 |



|  |     |
|--|-----|
| Tabela 4.10 - Pessoal e custos dos fornos de produção de carvão de babaçu  | 155 |
| Tabela 4.11 - Custo do carvão de babaçu, segundo o teor de carbono fixo e custo por usina  | 163 |
| Tabela 4.12 - Custos do coco, segundo seus componentes e derivados   | 163 |
| Tabela 5.1 - Alteração da cobertura vegetal da Amazônia Legal até 1988   | 174 |
| Tabela 5.2 - Taxa anual de desmatamento bruto 1978-1991  | 174 |
| Tabela 5.3 - Extensão do desmatamento bruto (km <sup>2</sup> )   | 175 |
| Tabela 5.4 - Relação entre área desmatada e rendimento em carvão vegetal   | 182 |
| Tabela 5.5 - Estimativa do regime de exploração de florestas brasileiras   | 182 |
| Tabela 6.1 - Grupos indígenas atingidos nos Estados do Pará e Maranhão   | 198 |
| Tabela 6.2 - Atribuição e áreas de influência dos órgãos federais na região de Carajás   | 202 |
| Tabela 6.3 - Estrutura operante na região de Carajás para tomada de terras   | 202 |
| Tabela 6.4 - Estrutura produtora de carvão vegetal   | 206 |
| Tabela 7.1 - Produção sustentada de lenha (st/ha) para diversas formações florestais   | 240 |
| Tabela 7.2 - Características de diferentes espécies de eucalipto em torno de três anos de idade  | 244 |
| Tabela 8.1 - Investimento necessário à implantação de uma central de aço nas cidades de Marabá, Açailândia e Santa Inês - alto forno convencional (US\$/t.ano de tarugo)                   | 279 |
| Tabela 8.2 - Investimento necessário à implantação de uma central de aço nas cidades de Marabá, Açailândia e Santa Inês - alto forno otimizado com injeção de finos (US\$/t.ano de tarugo) | 279 |

## LISTA DE FIGURAS

|  | Página |
|--|--------|
| Figura 3.1 - Diagrama de carbonização proposto por Kanury e Blackshear                                   | 69     |
| Figura 3.2 - Bloco diagrama mostrando o avanço da carbonização, proposto por Holmes                      | 83     |
| Figura 3.3 - Comportamento dos componentes da madeira, segundo a perda de peso (%) e a temperatura ( °C) | 85     |
| Figura 3.4 - Diagrama do processo de recuperação de alcatrão por absorção mecânica                       | 96     |
| Figura 3.5 - Diagrama do processo de recuperação de alcatrão por impacto e coalescência                  | 96     |
| Figura 3.6 - Diagrama do processo de recuperação de alcatrão por mistura mecânica                        | 97     |
| Figura 3.7 - Diagrama do processo de recuperação de alcatrão por recuperação eletrostática               | 97     |
| Figura 3.8 - Diagrama do recuperador de alcatrão tipo "labirinto"  | 100    |
| Figura 3.9 - Diagrama do recuperador de alcatrão tipo "estrela"  | 100    |
| Figura 3.10 - Diagrama do recuperador de alcatrão tipo "ciclônico"                                       | 101    |
| Figura 3.11 - Diagrama do recuperador de alcatrão tipo "tríplo ciclone"                                  | 101    |
| Figura 3.12 - Ilustração do sistema de carregamento Paul Wurth   | 107    |
| Figura 3.13 - Ilustração do forno tipo "rabo-quente"   | 114    |
| Figura 3.14 - Ilustração do forno de encosta   | 115    |
| Figura 3.15 - Ilustração de um forno de superfície   | 118    |
| Figura 3.16 - Ilustração de um forno de superfície com câmara externa                                    | 119    |
| Figura 4.1 - Fluxograma do Processo PRICO  | 133    |
| Figura 4.2 - Ilustração do tipo de unidade auxiliar montado sobre "skids"                                | 135    |
| Figura 4.3 - Ilustração do tipo de barcaça criogênica a ser empregado no transporte de gás natural       | 136    |

## LISTA DE GRÁFICOS

|  | Página |
|--|--------|
| Gráfico 1.1 - Energia primária no Mundo em 1985  | 9      |
| Gráfico 1.2 - Energia primária nos países industrializados em 1985   | 10     |
| Gráfico 1.3 - Energia primária em 1985 nos países em desenvolvimento   | 10     |
| Gráfico 1.4 - Consumo final de lenha no Brasil   | 13     |
| Gráfico 1.5 - Consumo de carvão vegetal - setores industriais  | 14     |
| Gráfico 2.1 - Consumo energético na siderurgia (TEP)   | 42     |
| Gráfico 2.2 - Consumo de carvão vegetal origem nativa e reflorestamento  | 43     |
| Gráfico 2.3 - Consumo de carvão vegetal por Estado ( $10^3 \text{ m}^3$ )  | 44     |
| Gráfico 2.4 - Distribuição dos produtores independentes de ferro-gusa por Estado   | 50     |
| Gráfico 3.1 - Produtividade em carvão vegetal segundo a formação florestal ( $10^3 \text{ t/ha}$ )                             | 81     |
| Gráfico 3.2 - Participação das formações vegetais na produção nacional de carvão vegetal                                       | 81     |
| Gráfico 3.3 - Composição elementar do carvão vegetal e rendimento segundo várias temperaturas de carbonização                  | 87     |
| Gráfico 5.1 - Taxa anual de desmatamento bruto na Amazônia Legal   | 176    |
| Gráfico 5.2 - Extensão do desmatamento na Amazônia Legal ( $\text{km}^2$ )   | 176    |
| Gráfico 5.3 - Rendimento em carvão vegetal X área desmatada  | 183    |
| Gráfico 7.1 - Variação do custo da lenha de floresta plantada segundo o custo da terra para reflorestamento (US\$/t)           | 250    |
| Gráfico 7.2 - Custo do carvão vegetal X carvão mineral (rendimento 30%) - ciclo de 21 anos                                     | 254    |
| Gráfico 7.3 - Custo do carvão vegetal X carvão mineral (rendimento 30%) - ciclo de 15 anos                                     | 255    |
| Gráfico 7.4 - Comparação entre custos de carvão vegetal, para diferentes custos de mão-de-obra*(US\$ 0,5) - ciclo de 21 anos   | 258    |
| Gráfico 7.5 - Comparação entre custos de carvão vegetal, para diferentes custos de mão-de-obra*(US\$ 1,0) - ciclo de 21 anos   | 258    |
| Gráfico 7.6 - Comparação entre custos de carvão vegetal, para diferentes custos de mão-de-obra*(US\$ 0,5) - ciclo de 15 anos   | 259    |
| Gráfico 7.7 - Comparação entre custos de carvão vegetal, para diferentes custos de mão-de-obra*(US\$ 1,0) - ciclo de 15 anos   | 259    |
| Gráfico 8.1 - Série histórica do preço médio do carvão vegetal (1984-1994) (US\$/ $\text{m}^3$ )                               | 266    |
| Gráfico 8.2 - Custo do carvão vegetal X carvão mineral - ciclo de 21 anos (rendimento 30%)                                     | 267    |
| Gráfico 8.3 - Custo do carvão vegetal X carvão mineral - ciclo de 15 anos (rendimento 30%)                                     | 267    |
| Gráfico 8.4 - Comparação entre custos de carvão vegetal, para diferentes custos de mão-de-obra * (US\$ 0,5) - ciclo de 21 anos | 268    |
| Gráfico 8.5 - Comparação entre custos de carvão vegetal, para diferentes custos de mão-de-obra * (US\$ 1,0) - ciclo de 21 anos | 268    |
| Gráfico 8.6 - Comparação entre custos de carvão vegetal, para diferentes custos de mão-de-obra * (US\$ 0,5) - ciclo de 15 anos | 269    |
| Gráfico 8.7 - Comparação entre custos de carvão vegetal, para diferentes custos de mão-de-obra * (US\$ 1,0) - ciclo de 15 anos | 269    |

## LISTA DE ABREVIATURAS

ABRACAVE: Associação Brasileira de Carvão Vegetal<sup>1</sup>;

AML: Amazônia Legal;

BUN: Biomass Users Network;

CETEC: Fundação Centro Tecnológico de Minas Gerais;

Ct: Custo de Terra.

eq.h: Equivalente-Hora;

Flor. Den. : Floresta Densa;

Flor. Aber. : Floresta Aberta;

GLP: Gás Liquefeito de Petróleo;

GN: Gás Natural;

GNL: Gás Natural Liquefeito;

HC: Hidrocarbonetos;

H.h: Homem-Hora;

IBAMA: Instituto Brasileiro dos Meio Ambiente e dos Recursos Renováveis;

IDESP: Instituto de Desenvolvimento Econômico e Social do Pará;

IEF: Instituto Estadual Florestal;

MDO: Quantificação de Mão-de-Obra;

OC: Óleo Combustível;

OD: Óleo Diesel;

PGC: Projeto Grande Carajás;

RG: Rendimento Gravimétrico;

WWF: World Wildlife Fund.

---

<sup>1</sup> A partir de 25/05/95, assumiu a designação de Associação Brasileira de Florestas Renováveis, mantendo, porém a mesma sigla.

---

## RESUMO

---

Este trabalho aborda diversas implicações de ordem tecnológica, ambiental e social relacionados ao uso de carvão vegetal nos pólos guseiros.

Através de coleta de dados em publicações técnicas, visitas a centros de tecnologia guseira e entrevistas com especialistas da área, foram levantadas as informações que serviram de base à elaboração deste trabalho.

A análise e interpretação dos resultados obtidos mostram que a manutenção da produção de ferro-gusa depende do contínuo fornecimento de carvão vegetal, como termo-redutor de boa capacidade calorífica, preço baixo e fácil acesso.

Todavia, nas condições atuais, o suprimento de carvão vegetal à indústria está relacionado à exploração intensiva de florestas nativas e uma correspondente falta de áreas reflorestadas capazes de suprir a demanda de lenha para carvoejamento.

Além do carvão vegetal, outros insumos também podem ser usados na redução do minério de ferro: o gás natural (na produção integrada de aço) o carvão de coco de babaçu, o carvão vegetal de espécies nativas da Amazônia e mesmo o carvão mineral. Estes insumos, entretanto, apresentam problemas ainda não totalmente quantificados, como suprimento, tecnologia adequada de uso e custos de exploração.

O uso intensivo de carvão vegetal se baseia na existência de uma rede de carvoejadores e fornos, que operam num ritmo de trabalho intenso (às vezes cerca de quinze horas por dia), baixa remuneração por madeira carvoejada (meio dólar por metro cúbico de carvão vegetal) e falta de seguridade social.

De modo geral, os produtores de gusa pouco consideram o uso de carvão de florestas plantadas, pois admitem que um carvão de maior custo, constituir-se-ia em ameaça à própria continuação da produção de ferro-gusa.

---

## ABSTRACT

---

The aim of this work is to discuss implications technological, environmentally and social limitations of the pig-iron's production using charcoal .

Through technical papers, technical visits to research centers and interview with experts, a data basis was collected to produce this work.

The analysis of data showed that: the continuity of pig-iron making depends on continuous supply of charcoal, at low cost, with good heat capacity, and with easy access.

However, under current conditions, the charcoal supply to industry is depending of a intensive exploration of native forest. At the same time, there is a lack of land suitable for reforestation to provide wood to renewable charcoal making.

Nevertheless, there are several resources that can be used to reduce the iron ore: charcoal of babassu coconut, charcoal of native amazonic trees, natural gas (integrated plants) and even coal. Some of them are candidates to replace the charcoal, but further technological, infrastructural and economic developments are still required.

The intensive utilization of charcoal by siderurgy is based in a network of kilns and charcoal makers working under extreme conditions (indeed, some work fifteen hours per day), they have no social security and extremely low wages (some receive only half a dollar per cubic metre of charcoal).

In general, pig-iron's makers do not consider the use of charcoal from forested wood, because its higher cost may challenge the viability of pig-iron production.

---

## CAPÍTULO I: INTRODUÇÃO

---

### 1.1. MOTIVAÇÃO DO TRABALHO

Desde que o Homem se encontra sobre a Terra a lenha é usada como fonte energética para os mais diversos fins. À medida que a civilização avançava novos usos, energéticos ou não, foram sendo incorporados ao seu emprego. Entre os novos usos destacou-se o do carvão vegetal, produto de transformação da lenha via pirólise. Os setores industriais, ao longo da história humana, reconheceram neste recurso energético qualidades adequadas a diversos fins produtivos e muitas vezes estabeleceram indústrias baseadas exclusivamente em carvão vegetal como insumo principal.

O estabelecimento da indústria sidero-metalúrgica na Europa, a partir da Revolução Industrial, foi responsável pela extinção de boa parte da massa florestal europeia. Parte das florestas europeias, hoje existentes, são na realidade florestas plantadas durante os séculos XVIII e XIX, como a Floresta Negra da Alemanha.

Com o aumento da influência dos países europeus mais prósperos sobre outras nações e a conseqüente ingerência interna nestes territórios, iniciou-se uma fase de busca de insumos substitutos ao carvão vegetal e lenha, ou a novas formas de aproveitamento desse potencial energético, o que se deu com o uso do carvão mineral e com a descoberta de processos de aproveitamento energético e o conseqüente desenvolvimento de tecnologias aplicativas. Um bom exemplo é aproveitamento do vapor, originário da combustão da lenha, para a movimentação de máquinas.



Esta mesma influência européia, na forma de colonização cultural, seria exportada mundo afora como ideal de desenvolvimento. Todos os países surgentes num primeiro instante importaram tecnologias desenvolvidas no Mundo Velho, algumas já em processo de substituição por outras mais eficientes ou com menos restrições, como a tecnologia de redução de minério de ferro por carvão vegetal, que foi substituída por redução via coque-carvão mineral, pois a massa florestal da Europa era cada vez mais escassa.

Em nosso País a implantação do modelo sidero-metalúrgico baseado em carvão vegetal começou a ser implantado no final do século XIX e início do XX. Embora a sidero-metalurgia reconheça que outros insumos além do carvão vegetal podem ser usados para a redução de minérios, houve toda uma estruturação de parque produtor de gusa e aço baseada em carvão vegetal.

Esta estruturação se baseou essencialmente no reconhecimento da facilidade de acesso à floresta nativa e posterior transformação do material lenhoso em termo-redutor, na abundância de massa florestal presente no Território Nacional, na falta de uma tecnologia adequada que permitisse o emprego de carvão mineral nacional (os parques industriais montados para operar com carvão mineral foram projetados para operar com carvão mineral do exterior de melhor qualidade), mais a qualidade dos aços produzidos a carvão vegetal que superavam aqueles produzidos a coque.

A utilização de biomassa<sup>1</sup> (com fins industriais), do ponto de vista ambiental, é atrativa pois não contribui para o aumento de dióxido de carbono na atmosfera, permitindo que haja um balanço entre a quantidade liberada pela combustão e a

---

<sup>1</sup> De acordo com os objetivos deste trabalho, o termo biomassa será referente a lenha. Posteriormente, no decorrer dos capítulos seguintes ocorrerá o termo carvão vegetal, aqui considerado como produto da transformação de lenha, via carbonização.

absorvida pela fotossíntese. A correção dessa utilização, porém, está ligada a sustentabilidade, isto é, se explorar o recurso vegetal de forma a não esgotá-lo num ritmo que permita a sua regeneração, possibilitando que as gerações futuras também tenham acesso a este recurso e permitindo que o meio ambiente seja o minimamente agredido. No caso de ocorrer a agressão, que seja possível o seu controle, reversão ou pelo menos a mitigação.

Do ponto de vista social, se houvesse uma política adequada de incentivo à biomassa, para fins energéticos, o cultivo desta poderia auxiliar a minimizar os problemas de desemprego existentes em países em desenvolvimento, relacionados ao uso da terra (para fins de agricultura ou pecuária), fornecendo ao homem rural meios de subsistência e um mercado para a sua produção. Também ajudaria a conter a migração do campo para as grandes cidades, fixando o homem ao campo, lhe fornecendo base para criação de empregos e conseqüentemente para o desenvolvimento rural.

As áreas mais propícias ao cultivo da biomassa, para fins energéticos, seriam áreas ociosas, em que não existisse produção agrícola ou utilização social prevista, ou então áreas com excedentes agrícolas, onde essa produção não estabelecesse um conflito entre geração de energia e produção de alimentos.

Todavia, não há de se negar que existem preconceitos quanto a utilização de biomassa, para fins energéticos. Este energético, durante muito tempo, esteve com sua imagem associada a utilização por camadas mais pobres da população, principalmente nos países em desenvolvimento, bem como trazendo à reboque a idéia do desmatamento, da poluição, ineficiência energética e relação entre intensividade de trabalho e remuneração francamente desproporcional. Como tal, era (e ainda é)

considerado um energético a ser paulatinamente abandonado, à medida que ocorre o desenvolvimento industrial<sup>2</sup>.

Preferencialmente a lenha é empregada na cocção de alimentos no meio rural, e como insumo em pequenas indústrias de alimentos, de cerâmicas ou de cimento. Excetuando-se a questão da cocção no meio rural, que devido à situação de isolamento, tem muitas vezes como único energético disponível a lenha, as pequenas indústrias que se valem da lenha, poderiam utilizar de eletricidade ou alguma outra fonte de energia, para as suas necessidades. Porém o acesso fácil à madeira, que possui custo zero na floresta nativa (possuindo apenas o custo de corte, transporte e estocagem), se torna mais vantajoso e barato.

Para estes consumidores a substituição do uso de lenha implica a reestruturação de seus meios de produção, o que devido a escala do empreendimento, pode resultar em ser mais dispendiosa que a manutenção do emprego da lenha.

Por outro lado, poucas vezes é considerada a questão do plantio de florestas energéticas, o que seria a solução ideal não só para o consumo de pequenas indústrias, mas também para os grandes consumidores de lenha, como projetos sidero-metalúrgicos que a consomem na forma de carvão vegetal, implicando na existência de certas produções industriais, que a fim de poderem competir no mercado internacional, em termos de preço, baseiam-se no uso intensivo de biomassa. Como exemplo, há a produção de ferro-gusa brasileira, que se utiliza de carvão vegetal, sendo que cerca de 60% deste ainda provém de matas nativas. Todavia, a floresta plantada passa pela consideração de seu real custo de implantação, manutenção e gerenciamento até o final do ciclo de exploração, que geralmente é de vinte e um anos.

---

<sup>2</sup> Ver Hall, Rossillo-Calle, Williams, Woods, (1993).

Trazer a luz essa situação, e analisar novos modos de utilização desse recurso, de modo a permitir seu emprego racional, do ponto de vista ambiental e social, dará a oportunidade a esse energético de ser utilizado como uma alternativa viável e renovável, dentre todas as outras já existentes, principalmente às populações mais carentes.

Assim no intuito de abordar esta problemática e tomando como eixos principais o tecnológico, o ambiental e o social, é pretendido o estudo dos aspectos da utilização de carvão vegetal nos pólos guseiros. Neste estudo toma-se como exemplos recorrentes os pólos de Minas Gerais e Carajás-Pa.

Minas por ser o maior pólo de produção guseira do Brasil e ter estabelecido toda a tecnologia de carvoejamento que depois seria exportada para os outros Estados.

Por sua vez, Carajás é o mais novo pólo de produção e se encontra em zona de extensa cobertura florestal, a exemplo de Minas Gerais no início do século, quando lá se iniciou a atividade guseira. Como Carajás importou a tecnologia guseira e de carvoejamento do Estado das Gerais, teme-se que lá ocorra a extinção quase que total da cobertura original como já havido em Minas, onde estavam associados a produção sidero-metalúrgica intensa e a exploração indiscriminada das florestas.

Este modelo industrial de produção permite o questionamento de diversos pontos de sua estrutura, estes seriam:

- O uso de floresta nativa para a produção de carvão vegetal é realmente necessário?
- O quanto esse uso provoca em desmatamento?
- Quanto custaria gerir uma plantação energética?
- A produção de gusa é capaz de pagar uma floresta energética? Se não, o que pode ser produzido em seu lugar? (Aço?)

- Em quanto o estabelecimento de um parque sidero-metalúrgico pode modificar em termos ambientais, sociais e econômicos o “status quo” da população do entorno do projeto?
- Porque não se empregar energéticos alternativos ao carvão vegetal? Quais seriam estes?
- A produção de gusa e aço baseada em carvão vegetal pode ser melhorada, do ponto de vista da eficiência dos processos?

Associadas a estas questões podem surgir muitas outras derivadas, porém em síntese parece ser esta a problemática do carvão vegetal. Assim, o estudo e posterior conhecimento dessa estrutura passa, necessariamente, pela abordagem e quantificação dos pontos anteriormente apresentados, mais a apresentação de críticas, sugestões e recomendações, de modo a levantar os aspectos do uso de carvão vegetal nos pólos guseiros, tentando ao mesmo tempo inquirir e responder as diversas facetas inerentes à essa problemática, bastante presente em nosso País, porém até o momento carente de um estudo integrado capaz de abordar tanto as relações sociais, quanto ambientais e tecnológicas do carvão vegetal.

### **1.1.2. A UTILIZAÇÃO DE BIOMASSA (LENHA) NO MUNDO**

A importância do consumo de lenha pode ser avaliada, a partir da constatação de que no mundo todo anualmente são consumidos 55 exajoules de biomassa (a maioria lenha), o que corresponde a 15% da energia mundialmente utilizada. A nível percapita, o consumo anual médio no setor rural está em torno de 1 a 2 t/ano.

Todavia, há países de consumo muito maior, como a Nicarágua, que registra valores percapita de 2,865 t/ano (Jones & Otarola, 1981 apud Barnard, 1987) e a Tanzânia com 2,6 t/ano (Fleuret & Fleuret, 1978 apud Barnard, op cit.). Estes valores, representam uma faixa de variação entre 90-180 GJ/ano, o que é um valor muito alto, se comparado ao consumo domiciliar inglês (incluindo aquecimento) que é de 80 GJ/ano.

Já para o setor urbano, os valores são menores, no Senegal 100 kg/ano percapita, no Quênia entre 100-170 kg/ano (Burley, 1982 apud Barnard op. cit.), na Tanzânia varia de 170 a 315 kg/ano e em Burkina Faso onde é o principal combustível urbano chega a 438 kg/ano. Em alguns países africanos e asiáticos, a lenha responde por 90% da energia total. Mesmo nos países que possuem acesso a outros energéticos, a participação na energia total é muito expressiva. Por exemplo na Nigéria, que é um importante produtor de petróleo a nível mundial, a participação da lenha chega a 80%. No geral, para os países em desenvolvimento, este valor é de 38% (Hall, et al., 1992).

A Tabela 1.1 abaixo, mostra a participação da lenha no total de energia consumida para países em desenvolvimento.

Tabela 1.1 - Participação da lenha no consumo total de energia

| País                 | % no Total de Energia Consumida | País       | % no Total de Energia Consumida |
|----------------------|---------------------------------|------------|---------------------------------|
| Angola               | 74                              | Mali       | 97                              |
| Benin                | 86                              | Marrocos   | 19                              |
| Brasil *             | 13                              | Mocambique | 74                              |
| Burkina Faso         | 94                              | Nepal      | 98                              |
| Burundi              | 89                              | Nicarágua  | 25                              |
| Camarões             | 82                              | Niger      | 87                              |
| Rep. Centro Africana | 91                              | Nigéria    | 82                              |
| Chade                | 94                              | Paquistão  | 37                              |
| Chile                | 16                              | Ruanda     | 96                              |
| El Salvador          | 37                              | Senegal    | 63                              |
| Etiópia              | 93                              | Serra Leoa | 76                              |
| Gana                 | 74                              | Somalia    | 90                              |
| Guiné                | 74                              | Sri Lanka  | 55                              |
| Honduras             | 45                              | Sudão      | 81                              |
| Índia                | 36                              | Tanzânia   | 94                              |
| Costa do Marfim      | 46                              | Tailândia  | 63                              |
| Quênia               | 70                              | Tunisia    | 42                              |
| Libéria              | 53                              | Zâmbia     | 35                              |
| Madagascar           | 80                              | Zimbabwe   | 28                              |

Fonte: Hall et al. (1982); Leach et al. (1983) apud Barnard (1987)

\* considerando BEN (1994) - para 1987 a participação era de 33%;

Pode-se observar a predominância dos países africanos como consumidores de lenha, num total de vinte e seis países, contra sete países orientais e cinco latino-americanos. Os dados da Tabela 1.1 mostram a extrema dependência que alguns países africanos têm da lenha como energético. Isto se deve em grande parte à falta de acesso a outros energéticos para uso doméstico.

Os países africanos apresentam uma média de consumo de lenha de 74,6% em relação ao total de energia consumida. Já nos países orientais a média é de 58,5% e nos latino-americanos de 31,2%. Todavia, estes percentuais não devem ser confundidos com o uso mais ou menos eficiente da lenha.

Deve-se atentar para o fato de que o consumo de lenha varia muito, seja de país para país, ou mesmo de uma localidade para outra, seja segundo a abundância ou escassez da lenha. Nos locais onde a lenha é escassa, há a tendência de uso racionado do energético, por exemplo se reutilizando lenha que não foi totalmente queimada. Criam-se também estoques e tem-se cuidado de manter o fogo aceso mais tempo e com uma chama quase constante.

Um dos fatores determinantes do consumo racional de lenha talvez seja o número de membros por família. As famílias mais numerosas, ao que parece, usam menos lenha. Por exemplo no Nepal, as famílias que têm entre um e quatro membros consomem em média 890 kg/ano, enquanto as com nove membros ou mais consomem 340 kg/ano (Fox, 1983 apud Barnard, op. cit.).

O consumo de lenha está também ligado não só a fatores econômicos, mas também culturais. Em regiões onde não há acesso à rede elétrica para fins de iluminação, não só a cocção irá ser um uso final representativo do consumo de lenha, mas também a

iluminação, pois a chama terá de se manter por horas adentro, durante a noite. Por outro lado, práticas tradicionais podem ser meios vorazes de se usar lenha, como o costume indiano de se cremar os corpos, em que a queima de um corpo chega a consumir 400 kg de lenha.

Enquanto a oferta de lenha é abundante, os consumidores normalmente utilizam aquela capaz de ser apanhada do chão, às vezes se cortando alguns ramos. Contudo, dificilmente as árvores são derrubadas. Porém à medida que a lenha vai escasseando, esta seletividade vai sendo abandonada. Da coleta de ramos e galhos, às vezes obtidos por meio de podagem, passa-se ao corte das árvores.

A escassez do recurso também favorece o aumento do sentimento de posse em relação à terra. No Quênia, há o costume de se permitir aos vizinhos a coleta de lenha em propriedades particulares, prática que vem sendo abandonada devido ao desaparecimento gradual do recurso. Numa situação como esta, a escassez é primeiramente sentida pelos pobres e por aqueles que não possuem terras.

A seguir pode-se observar a participação da biomassa (predominantemente lenha) no total energético mundial, nos países desenvolvidos e em desenvolvimento (Gráficos 1.1, 1.2 e 1.3).

GRÁFICO 1.1

ENERGIA PRIMÁRIA NO MUNDO EM 1985

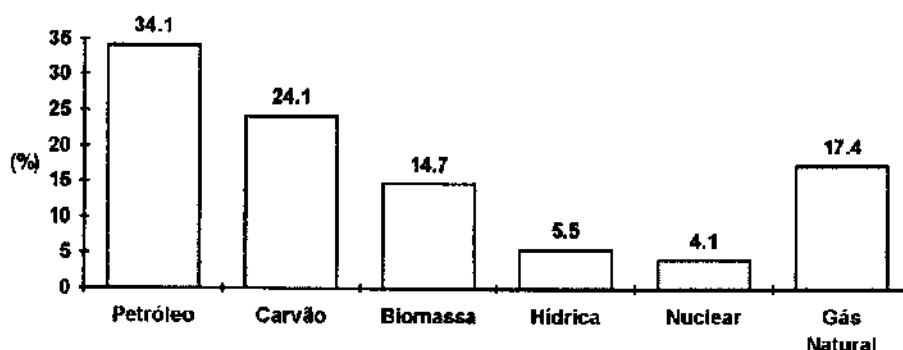
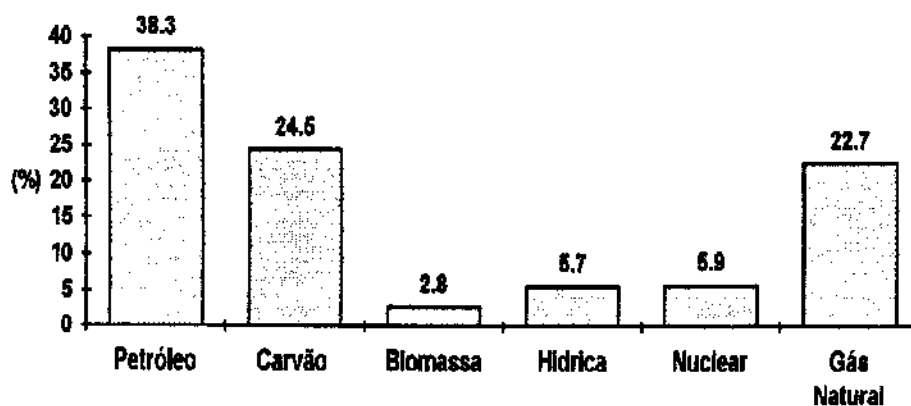




GRÁFICO 1.2

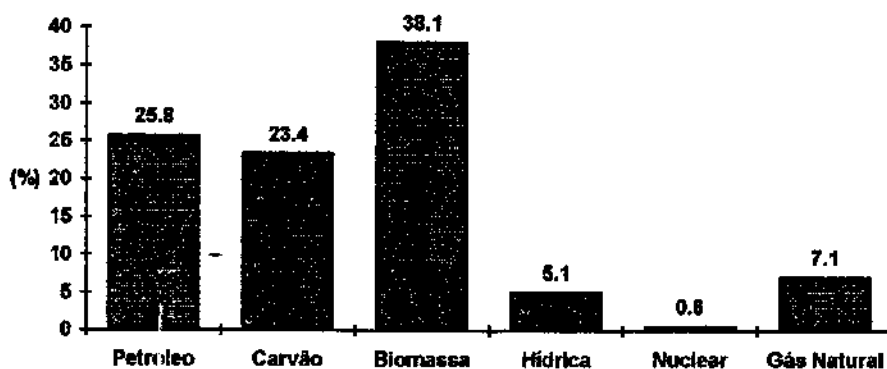
## ENERGIA PRIMÁRIA NOS PAÍSES INDUSTRIALIZADOS EM 1985



Fonte: Hall et al., (1992)

GRÁFICO 1.3

## ENERGIA PRIMÁRIA EM 1985 NOS PAÍSES EM DESENVOLVIMENTO



Fonte: Hall et. al., (1992)

O Gráfico 1.1 mostra uma participação mundial de utilização de biomassa de 14,7%, porém o Gráfico 1.2 apresenta uma participação de apenas 2,8% dos países industrializados, contra a média de 38,1% dos países em desenvolvimento.

O percentual mundial de utilização de biomassa é “ puxado para cima” principalmente pelos países em desenvolvimento, que utilizam a biomassa em larga escala, na forma de lenha.

Os países industrializados, por sua vez, vão abandonando o uso da biomassa paulatinamente, por considerá-la inadequada as suas necessidades energéticas que são prontamente supridas pelas oferta de outros energéticos.

Segundo Bezerra (1993), o emprego da lenha como energético se deve ao fato de os agricultores serem refratários ao conhecimento e emprego de novos energéticos, e também da falta de assistência técnica e de linhas de crédito ao homem do campo.

Outro aspecto a se considerar, no tocante a lenha, é a sua intensividade em pessoas para coletá-la, em regiões muito pobres participam da coleta mulheres e crianças. Esta atividade mantém as crianças longe das escolas, não permite que as mulheres desenvolvam atividade profissional, e tende a ser cada vez mais intensiva em tempo, já que a lenha vai escasseando e se torna necessário ir buscá-la cada vez mais longe para se obter a mesma quantidade de antes (Goldemberg et al., 1987). O problema da lenha passa da esfera energo-ambiental para a social, visto que muitas vezes é o único energético a que estas populações pobres tem acesso.

No tocante ao uso industrial da lenha, esta é preferencialmente empregada na cervejaria, cerâmica, secagem de café e chá, na curagem de tabaco, produção de açúcar, olaria e fabricação de cal. Seu percentual de emprego entretanto, varia segundo a possibilidade de um determinado país que emprega lenha de possuir um parque industrial desenvolvido, e acesso a energéticos como petróleo e eletricidade. Na Índia, onde há um parque industrial expressivo, a lenha participa apenas com 6% das necessidades energéticas da indústria. Porém no Sri Lanka esta participação atinge 57%, no Quênia 64%, em Moçambique 69% e na Tanzânia por volta de 88%.

A reunião de pequenas indústrias pode ter um consumo impressionante de energia, na forma de lenha. Na Nicarágua, no entorno de uma cidadezinha chamada

Masaya, existem 35 padarias, 721 fabricantes de tortillas e 109 produtores de “chicharon” (lanche local), que juntos consomem entre 8 mil e 9 mil t/ano de lenha, o que é equivalente ao consumo doméstico de 10 mil pessoas (Leach et al., 1983; O’Keefe & Munslow, 1984; van Buren, 1984 apud Barnard op. cit.).

Das pequenas indústrias consumidoras de lenha, talvez a mais voraz seja a de curagem de tabaco. A lenha é usada para manter a umidade e as condições de temperatura controladas, na forma de ar quente, num processo que dura no mínimo seis dias. Em média de cada quilo de tabaco vendido foram extraídos 6 kg de água. Nos processos antigos de curagem, como os empregados no Malawi, são utilizadas 48 t de lenha para cada tonelada de tabaco, já as técnicas modernas conseguem empregar seis vezes esta quantidade em toda a sua produção. Na **Tabela 1.2** pode-se observar estimativas de consumo de lenha por pequenas indústrias de diversos países da América Latina, África e Ásia.

**Tabela 1.2 - Estimativas de consumo de lenha**

| Pequena Indústria  | País      | t de lenha/t de produto final |
|--------------------|-----------|-------------------------------|
| Cal                | Nicarágua | 1.5                           |
| Olaria (tijolos)   | Tailândia | 0.6                           |
| Borracha           | Tailândia | 0.6                           |
| Sal marinho        | Nicarágua | 2.5                           |
| Alimentação        | Guatemala | 2.0                           |
| Tabaco             | Malawi    | 8.0-48.0                      |
| Defumagem de peixe | Tanzânia  | 0.1                           |

Fonte: Mnzawa (1981); Arnold & Lucia (1982); Banco Mundial (1983); van Buren (1984); Shirley & Selker (1985) apud Barnard (1987).

Embora sejam relevantes, as demandas das pequenas indústrias raramente excedem 1/3 da demanda total de lenha. Geralmente, é o setor residencial o maior consumidor. No Quênia, as indústrias e pequenos comércios respondem por 26% do consumo total de lenha, já na Nicarágua é de 19% e na Índia cerca de 3% .

### 1.1.3. A UTILIZAÇÃO DE BIOMASSA (LENHA) NO BRASIL

Uma das formas mais representativas do consumo de lenha é na forma de carvão vegetal. Em nosso País o consumo se dá prioritariamente nos seguintes setores industriais: o de usinas integradas a aço, de produção independente de ferro-gusa, de ferroligas, de cimento e de metais primários.

Mais adiante serão discutidas as relações que o emprego de carvão vegetal guarda com o setor industrial, a sociedade e o meio ambiente.

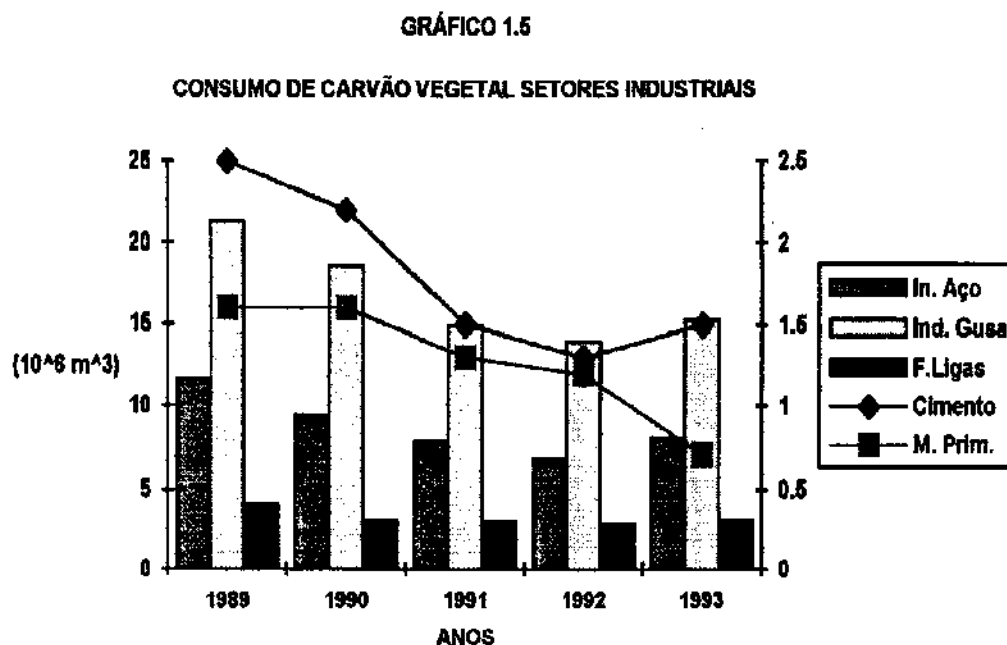
Os Gráficos 1.4 e 1.5 mostram o consumo final de lenha no Brasil e o consequente emprego de carvão vegetal nos diversos setores industriais<sup>3</sup>.



Fonte: BEN (1993)



<sup>3</sup> Ver o Capítulo II que trata com mais detalhes da participação industrial do carvão vegetal.



Fonte: ABRACAVE (1994)

No **Gráfico 1.5** a escala da esquerda (de 0 milhões  $m^3$  a 25 milhões  $m^3$ ) se refere aos setores industriais que mais consomem carvão vegetal (produção de aço, ferro-gusa e ferroligas) e a escala da direita aos setores de cimento e metais primários, que apresentam um menor consumo de carvão vegetal em relação aos anteriores.

Observa-se que o consumo de carvão vegetal pela indústria de ferroligas vêm se mantendo aproximadamente constante, enquanto os setores de gusa e aço que vinham de um consumo decrescente até 1992, mostram um recrudescimento do consumo em 1993 motivados por uma ligeira melhoria no mercado de seus produtos.

Execetando-se o ano de 1993, que não está presente no **Gráfico 1.4** de consumo final de lenha, as variações anuais do setor guseiro e de aço se assemelham às da lenha<sup>4</sup>.

<sup>4</sup> Embora não haja discriminação, parte da lenha consumida que está indicada no gráfico converter-se-á em carvão vegetal.

## **1.2. OBJETIVOS DO TRABALHO**

1. investigar a estrutura produtiva do carvão vegetal e suas relações com a produção de ferro-gusa, em nível tecnológico, ambiental, social, e econômico;
2. analisar as limitações ambientais e legislativas da produção de gusa a partir de carvão vegetal de mata nativa;
3. discutir o emprego de outros insumos, que não o carvão vegetal florestal, na produção de gusa, como o coque mineral, o carvão de babaçu e o gás natural;
4. analisar a viabilidade do emprego de carvão vegetal oriundo de floresta plantada para a produção de ferro-gusa.

## **1.3. METODOLOGIA**

A metodologia empregada no curso deste trabalho foi composta de cinco pontos, a saber:

- coleta de dados por meio de levantamentos bibliográficos, tanto em publicações nacionais quanto estrangeiras;
- consulta a anuários estatísticos e bancos de dados de fundações e ONGs que guardam relação com a problemática abordada na dissertação, i.e., IDESP, ABRACAVE, IBS, CETEC, WWF, BUN, Fundação Florestar, etc.,;
- discussões com especialistas da área, de modo a confrontar diferentes pontos de vista a respeito do tema aqui tratado;
- visitas técnicas a centros de tecnologia guseira e/ou de carvoejamento;

- classificação, interpretação e análise dos dados obtidos, através do confronto destes e do estudo das tendências comportamentais do setor guseiro e florestal.

#### **1.4. ORGANIZAÇÃO ESTRUTURAL DO TRABALHO**

Esta dissertação aborda a temática do uso do carvão vegetal através de oito capítulos, sendo que os sete primeiros tratam de aspectos particularizados diretamente ligados à questão do carvoejamento, já o último apresenta as conclusões e recomendações do autor.

Dentro da linha de trabalho desenvolvida, a questão do carvão vegetal comporta seis possíveis abordagens, que na realidade são questões apresentadas e posteriormente discutidas pelo autor, quais sejam estas:

1. a identificação da forma como a lenha é usada energeticamente, e de como esta se insere na produção de carvão vegetal (Capítulos I e II);
2. quantificação da participação-consumo de carvão vegetal na sidero-metalurgia (produção de gusa e aço), segundo a origem (de mata nativa ou de reflorestamento) (Capítulo II);
3. determinação das características técnicas do carvão vegetal, e dos fornos que o utilizam como termo-redutor e/ou combustível, bem como dos fornos empregados no carvoejamento. Mais os comportamento dos compostos de madeira frente à carbonização e a análise dos processos ocorrentes nos altos-fornos, de modo a permitir a otimização tanto da utilização do carvão vegetal quanto dos processos sidero-metalúrgicos (Capítulo III);

4. análise dos possíveis insumos de uso alternativo ao carvão vegetal e da possibilidade de produções sidero-metalúrgicas (produtos de maior valor agregado) que não a de gusa (Capítulo IV);
5. determinação dos problemas ambientais e sociais ocasionados pela produção de ferro-gusa (Capítulos V e VI);
6. quantificação econômica do hectare plantado de eucalipto visando a produção de carvão vegetal (Capítulo VII).

Fazendo-se uma rápida descrição dos capítulos, ter-se-á que o **primeiro capítulo** introduz a problemática da biomassa em termos de utilização, social e ambiental no Brasil e no Mundo e as respectivas limitações que daí se originam. A biomassa é apresentada exclusivamente na forma de lenha, a fim de promover o eixo condutivo da dissertação, que é o entendimento da lenha como insumo principal à produção de carvão vegetal.

O **segundo capítulo** inicia por apresentar os insumos à produção de gusa, outros que não o carvão vegetal. A partir da discriminação dos insumos é tecida a participação destes nas diversas etapas de formação do custo do gusa.

Após isto aborda-se a questão do número de empregos gerados pela produção de ferro-gusa, fazendo-se um apanhado dos impostos pagos e receitas geradas por este setor, demonstrando no final a relação empregos gerados por tonelagem produzida, de modo a se ter um coeficiente (relativo) de intensidade de mão-de-obra.

No **terceiro capítulo** inicialmente são discutidas as características físicas e técnicas necessárias ao carvão vegetal a ser empregado na sidero-metalurgia. Em seguida trava-se contato com o processo de carvoejamento da madeira e como esta,



segundo os seus compostos, se comporta frente aos processos físico-químicos que produzirão o termo-redutor.

Dáí em diante são analisados os processo ocorrentes nos altos-fornos quando estes empregam carvão vegetal, as limitações técnicas presentes ou passíveis de ocorrer e de que forma estas podem ser evitadas ou minoradas, de modo a otimizar a produção de gusa e a utilização do carvão vegetal.

O capítulo quatro mostra que além do carvão vegetal, outros insumos podem ser empregados pela sidero-metalurgia. o que compõe o primeiro tema de que trata este capítulo. Os insumos alternativos são discutidos a partir de suas características técnicas frente ao carvão vegetal, acessibilidade e possibilidades de emprego em termos de escala.

Quanto ao outro tema, este se refere ao possível emprego do ferro-gusa como insumo à produção de produtos de maior valor agregado, sob a ótica de que se a produção de gusa é inevitável, porque não torná-la mais racional e lucrativa a partir da produção integrada.

O quinto capítulo trata dos problemas ambientais decorrentes da produção guseira, porém sob a ótica da exploração florestal para a produção de carvão vegetal. Inicialmente é apresentado o problema da poluição atmosférica gerada pelo carvoejamento. Em seguida os efeitos decorrentes da retirada de massa florestal pelos produtores de carvão vegetal.

Assim como a produção de insumos acarreta problemas ambientais, também acarreta sociais. O conteúdo do capítulo seis mostra a relação existente entre as populações pobres produtoras de carvão vegetal e o acesso conflituoso à matéria-prima, que é capaz de gerar conflitos agrários.

Também é abordada a situação de populações indígenas presentes nas áreas de projetos sidero-metalúrgicos, que embora não participem da cadeia produtora de insumos, sofrem toda uma carga de restrições ao seu modo de vida impostas pela instalação desses projetos em proximidade as suas reservas.

O sétimo capítulo mostra a natureza jurídica da floresta, bem como as restrições legais à sua exploração. Também mostra, em tom de exercício, quanto custa o plantio de um hectare de floresta de eucalipto visando a produção de carvão vegetal, bem como as etapas e insumos envolvidos no reflorestamento.

O encadeamento do texto se dá então inicialmente pelo estabelecimento do conceito de lenha como insumo à produção de carvão vegetal - tema do trabalho, e de como mundo afora este recurso energético é utilizado.

A partir do entendimento da lenha como matéria-prima do carvão vegetal, este é inserido na indústria sidero-metalúrgica, em termos de participação de consumo.

Já sendo então conhecido o consumo, passa-se a estudar as tecnologias de emprego do carvão vegetal em altos-fornos, e nos fornos utilizados no carvoejamento.

Após o conhecimento da participação do carvão vegetal na sidero-metalurgia e de como este é produzido e empregado, apresentam-se termo-redutores e/ou combustíveis alternativos ao carvão vegetal.

Tendo em mente já a participação, o uso, os modos de produção e os alternativos ao carvão vegetal, procede-se ao estudo dos problemas ambientais e sociais relacionados à indústria guseira e à obtenção de matéria-prima para carvoejamento.

Por fim, após o panorama tanto técnico-produtivo quanto sócio-ambiental, questiona-se a possibilidade de implantação de florestas de eucalipto para fins de

carvoejamento cujo objetivo principal seria a diminuição da pressão atualmente exercida sobre as florestas nativas.

## 1.5. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Nos últimos anos a problemática do carvão vegetal tem sido objeto de diversos estudos, em nível nacional e internacional. Estes estudos abordaram todos os aspectos envolvidos na produção e utilização do carvão vegetal, quais sejam o aspecto ambiental, traduzido na destruição de vegetação nativa para a produção de carvão vegetal; também a questão social que mostra ser o carvão vegetal o energético de mais fácil acesso por parte da população mais pobre e finalmente o aspecto técnico-econômico que mostra a existência de diversas indústrias baseadas na utilização de carvão vegetal, como a sidero-metalurgia, de cimento, etc.,

Dentre os diversos trabalhos realizados foram selecionados aqueles que guardavam maior relação com os objetivos propostos neste trabalho. Estes se constituíram na base primária de consulta histórica e evolutiva.

Os trabalhos por ordem de realização são os que se seguem:

**Pastore, Okino, Pastore Jr (s.d.):** realizaram experiências em laboratório com vinte espécies vegetais ocorrentes na Floresta Nacional do Tapajós, a fim de conhecer a viabilidade técnica de a partir destas espécies poder se produzir carvão vegetal, e quais as características físicas e técnicas (granulometria, teor de cinzas, compostos, capacidade calorífica, etc.,) do carvão obtido comparando-se estas as do eucalipto.

Para tal, foram determinados o teor de carbono fixo (de 77,58% até 86,145 contra 80,34% do eucalipto) o teor de cinzas (de 0,36% a 3,80% contra 0,58% do

eucalipto) e poder calorífico (7219,46 cal/g até 8284,42 cal/g contra 7732, 93 cal/g do eucalipto).

Os resultados demonstraram que as madeiras de maior densidade básica, dentre as espécies estudadas, produzem carvão de maior densidade aparente e que as espécies estudadas são adequadas ao uso industrial.

**Fontes (s.d):** analisou o desempenho de um forno metálico para carvoejamento empregando no experimento madeiras nativas da Região Amazônica.

A partir do estudo do ciclo de carvoejamento do forno, do rendimento gravimétrico do carvão, relação lenha/carvão vegetal e tipo de madeira carbonizada, conclui-se que o carvão produzido, embora de rendimento mediano, é de boa qualidade adequado ao emprego industrial.

**Oliveira & Almeida (1980):** analisaram diversos parâmetros relacionados à carbonização e suas respectivas influências nas propriedades do carvão vegetal<sup>5</sup>. Os parâmetros estudados foram: a composição química da madeira, densidade, reatividade, resistência mecânica e higroscopicidade.

O estudo também abordou o desempenho dos equipamentos de redução frente às propriedades do carvão vegetal, de modo a definir como estas influenciam na carbonização. As propriedades estudadas foram: a composição química, a densidade, a reatividade a resistência mecânica e a umidade.

**Juvillar (1980):** analisou as tecnologias de transformação da madeira em carvão vegetal. Inicialmente em termos de propriedades do redutor e a relação destas com o uso final, passando depois a discutir as tecnologias de produção; segundo o tipo de

---

<sup>5</sup> Ver os três trabalhos de Oliveira, Gomes, Almeida (1982).

forno, processo de carbonização e aproveitamento dos gases e vapores despreendidos durante o carvoejamento.

**Pimentel, Chick, Vergara (1981):** trataram do emprego de lenha e carvão vegetal em substituição parcial ao tradicional consumo de fósseis.

O emprego destes energéticos diminuiria a pressão sobre os fósseis, o que permitiria a administração da relação consumo/tempo de extinção das reservas.

O “impulso” à utilização da biomassa se daria segundo três pontos:

- conhecimento da tecnologia mais adequada à conversão da biomassa;
- conhecimento do potencial de lenha como fonte energética;
- conhecimento das implicações ambientais de se usar produtos florestais para a produção de energia.

**Smith (1981):** fez um apanhado, em nível de países em desenvolvimento, dos diferentes recursos florestais capazes de gerar energia.

No caso do Brasil é discutido o emprego do eucalipto na produção de carvão vegetal destinado às indústrias sidero-metalúrgicas.

O emprego desses recursos florestais melhoraria o acesso à energia por parte das populações mais pobres, o que possibilitaria o emprego mais racional dos energéticos tradicionais por outros setores de consumo, como a indústria.

**Zagatto (1981):** fez uma revisão dos principais métodos de gaseificação e de transformação da madeira em carvão vegetal, fazendo considerações a respeito da utilização de ar ou oxigênio durante os processos, e quanto aos tipos de gaseificadores existentes.

**Oliveira, Vivacqua Filho, Mendes, Gomes (1982):** descrevem os processos tecnológicos de produção de carvão vegetal segundo a composição da madeira e a

cinética da carbonização, isto é, como a madeira (e seus componentes) se comportam frente a progressão dos gradientes térmicos (carvoejamento).

**Mendes, Gomes, Oliveira (1982):** realizaram ensaios relacionados às propriedades mais ligadas à qualidade do carvão vegetal (friabilidade, resistência à compressão, densidade e porosidade, composição química e poder calorífico). A ausência de normalização para o carvão vegetal prejudica, em muito, a operação da siderometalurgia baseada em carvão vegetal<sup>6</sup>.

**Oliveira, Gomes, Almeida (1982):** discutem as melhores formas de produzir carvão vegetal com o objetivo de otimizar os processos de conversão, de forma a permitir um controle mais rigoroso das propriedades físicas e químicas do carvão vegetal enquanto redutor e/ou combustível.

O controle faz-se necessário devido a inexistência de normas de controle de qualidade, o que resulta em diferenças acentuadas quando da realização de ensaios por empresas que têm no carvão um termo-redutor ou por aquelas prestadoras de serviços.

**idem (1982):** estudaram o comportamento das principais propriedades do carvão vegetal e a influências destas nos processos de redução, de modo a conhecer a melhor tecnologia de produção de carvão vegetal, desde a fase de termo-redutor até a obtenção de gases.

Às vezes quando da redução de um minério necessita-se de um redutor com propriedades muito características. Posto isto, é de suma importância o conhecimento das propriedades intrínsecas ao carvão vegetal.

---

<sup>6</sup> Ver o trabalho de Oliveira, Gomes e Almeida (1982) sobre normalização de carvão vegetal.

**idem (1982):** realizaram 27 experimentos com madeira de eucalipto objetivando caracterizar e otimizar os processos de produção de carvão vegetal em forno de alvenaria.

Além da análise comportamental dos processos de alto-forno, visava-se desenvolver pessoal, tecnologias e equipamentos de posterior emprego em ensaios sobre carvão vegetal.

**Barnard (1987):** discorreu sobre o aumento da importância da lenha e carvão vegetal após as crises de petróleo dos anos setenta, e como estes recursos poderiam diminuir os impactos sociais e econômicos advindos da crise junto às populações de países em desenvolvimento que utilizam a biomassa como principal energético, o que representa 1/3 da população mundial.

Embora distintos entre si, os países em desenvolvimento apresentam semelhanças quanto ao emprego da biomassa sejam nos setores rural, doméstico e industrial. O uso deste combustível porém deve ser concomitante a formas de incentivo ao reflorestamento e ao plantio de florestas energéticas e políticas mitigadoras ambientais.

Estas políticas devem promover uma distinção clara entre o desmatamento (impacto ambiental mais comumente associado ao carvoejamento), e o uso de biomassa para fins energéticos. Nem sempre o desmatamento tem por fim a obtenção de combustível.

**Deglise & Magne (1987):** trataram dos processos mais conhecidos de pirólise empregados na produção de carvão vegetal.

Em síntese, a otimização do processo de pirólise, isto é, o máximo de rendimento em carvão e/ou compostos com o mínimo de perda em capacidade calorífica

e /ou compostos, passa primeiro pelo conhecimento dos compostos presentes na madeira e como estes se comportam durante a pirólise. Em seguida quais destes componentes podem ser recuperados e aproveitados industrialmente, sem contudo prejudicar o objetivo-fim que é a obtenção de carvão vegetal. E por fim, o conhecimento das tecnologias de operação dos processos empregados e dos fornos de carvoejamento, que incluem variáveis como capacidade de lenha a ser armazenada, quantidade de carvão a ser produzido segundo o tipo e quantidade de lenha, tecnologia de recuperação de compostos associada, tempo de operação do forno, etc.,

**Rosillo-Calle (1987):** analisou as tendências energéticas brasileiras no que se refere ao emprego da biomassa, em duas de suas formas mais significativas, quais sejam o álcool e o carvão vegetal.

A existência de uma indústria sidero-metalúrgica baseada em carvão vegetal, poderia estimular os reflorestamentos e as plantações energéticas, contudo tal não ocorre embora existam e tenham existido programas particulares e institucionais de reflorestamento. Contudo a presença destes ainda não se fez sentir na indústria, que ainda consome, em sua maior parte, carvão vegetal de origem nativa.

Parte do investimento em reflorestamento, segundo o autor poderia ser feito a partir da recuperação em escala industrial dos compostos despreendidos durante o carvoejamento.

**Teplitz-Sembitzky & Schramm (1989):** os autores estudaram o uso do carvão vegetal na África. Para as populações mais pobres a venda de carvão vegetal é a forma derradeira de obtenção de dividendos. Todavia a produção do carvão vegetal por estas populações se dá sem qualquer preocupação de cunho ambiental.



Devido a própria situação social destas populações carvoejadoras, a preocupação com o meio ambiente inexistente, tampouco a idéia da sustentabilidade, a qual permitiria manter um ritmo de exploração do recurso vegetal equivalente à taxa de regeneração.

Para se tentar solucionar parte destes problemas de ordem ambiental e econômica, poder-se-ia processar uma série de medidas que objetivasse um emprego maior de mão-de-obra, e que permitisse a operação de fornos mais eficientes que também fossem móveis. Os fornos móveis permitiriam a exploração de uma determinada área enquanto outra, em vias de esgotamento, se recupera

**Gowen (1989):** instituiu a terminologia “biocombustível”, a ser aplicada aos energéticos obtidos a partir de resíduos florestais (incluindo o carvão vegetal), agrícolas e celulósicos. Este biocombustível poderia substituir paulatinamente os combustíveis fósseis nos setores doméstico, industrial e agrícola.

A opção por biocombustível seria feita pelas populações mais pobres, que normalmente empreendem atividades nos setores supracitados, e que necessitam de fontes de combustível baratas, cientes porém da qualidade inferior que estas apresentam.

**Teplitz-Sembitzky & Zieroth (1990):** tratam da experiência institucional de carvoejamento desenvolvida no Malawi, entre 1986 e 1987, considerada como a mais importante já feita na África Subsaariana. Este projeto empregava resíduos vegetais provenientes de plantações governamentais (softwood), o que o diferencia dos projetos comuns que empregavam madeira na forma de lenha (hardwood<sup>7</sup>).

---

<sup>7</sup> Terminologia empregada pelos autores para diferenciar restos vegetais agrícolas da lenha propriamente dita.

Devido ao insumo incomum e a própria localização do projeto, novas tecnologias de produção-carvoejamento e logística (obtenção do insumo) tiveram de ser desenvolvidas.

Este carvão poderia ser empregado tanto no setor doméstico, quanto agrícola ou industrial. Porém o melhor resposta de emprego se deu em nível de pequenas indústrias, por exemplo como a de tabaco (curagem).

Os participantes do projeto concluem que o carvão de restos agrícolas é uma alternativa viável, técnica e economicamente, ao carvão vegetal tradicional (de lenha), pelo menos dentro da realidade subsahariana.

**Feinstein & van der Plas (1991):** estudaram o emprego de carvão vegetal por populações subsaharianas<sup>8</sup>.

O crescimento da população urbana associado ao avanço das propriedades rurais pressionam a sustentabilidade do suprimento de carvão vegetal, tanto às populações rurais quanto às urbanas que utilizam este energético. A fim de evitar a escassez, devem ser tomadas medidas que melhorem a oferta do combustível, por exemplo com o emprego de fornos mais eficientes o que diminuiria o desperdício.

Todavia, apenas soluções técnicas não satisfazem a problemática, deve ser considerado também o lado social da indústria de carvoejamento, enquanto estrutura carente de incentivos, os quais poderiam ser obtidos a partir de um gerenciamento de demanda, em nível de comunidade, financiado por impostos e taxas de consumo-usuário.

**Hall (1991):** realizou um estudo mundial a respeito do emprego da biomassa na forma de lenha e carvão vegetal tendo como ano base 1987. Os valores obtidos foram

---

<sup>8</sup> Ver Boberg (1993), Heiser (1993) e Chidumayo (1993)

relacionados ao consumo de outros energéticos e ao consumo total (percapita) das populações estudadas.

Este estudo demonstrou que o Brasil respondia pela primeira posição na produção mundial de carvão vegetal em 1989, que era de  $44,8 \text{ Mm}^3$  (11,6 Mtoe). A produção nacional se dá dentro de três categorias:

- a) **categoria da subsistência:** composta por pequenos produtores, de baixa renda, que desejam apenas gerar dividendos. Esta categoria não apresenta qualquer preocupação referente a custos econômicos ou controle de qualidade, tampouco de danos ambientais;
- b) **categoria dos vendedores:** composta por aqueles que fazem da venda e produção de carvão vegetal um negócio, cujo objetivo final é a circulação e o crescimento de capital;
- c) **categoria dos grandes produtores:** composta por aqueles capazes de produzir em larga escala para o setor industrial.

Para o autor a efetivação dos projetos sidero-metalúrgicos do Projeto Grande Carajás consumirá entre 2,3 a 3 Mt/a de carvão vegetal. Esta quantidade equivale a  $1.500 \text{ km}^2/\text{a}$  de floresta. A fim de ir de encontro a essa demanda, no ano 2000 a área plantada deverá estar entre 287 mil a 353 mil ha/ano, a um custo variando entre US\$ 2,8 a US\$ 3,4 bilhões. Somente o Estado de Minas Gerais, maior consumidor brasileiro, demandaria em 2005 cerca de 8 Mt.

Hall citando Campos e Toninello (1989), mostra que se os preços de carvão vegetal se mantiverem em torno de US\$ 120/t, qualquer plantação que apresentar custos de transporte para distâncias acima de 300 km e produtividade inferior a  $18 \text{ m}^3/\text{ha/ano}$ , torna-se economicamente inviável

**Murray & de Montalembert (1992):** os autores tratam da importância que a madeira e carvão vegetal assumiram a partir das crises de petróleo dos anos 70. Não só como

energéticos alternativos aos fósseis mas também como parte integrante do sistema florestal, que por sua vez é mantenedor dos solos, qualidade da água, etc.,

O emprego sustentável da biomassa como forma de manter o equilíbrio ambiental, sem contudo prescindir da necessidade das populações que dela são dependentes, deve se dar segundo políticas que visem a produção de energia direcionada para o atendimento essencialmente rural, visto ser este atendimento, em sociedades como a do Brasil e a da Índia por exemplo, o mais crítico em termos de assistência.

**Rosillo-Calle, Furtado e Hall (1992):** a exemplo de outros autores<sup>9</sup> estudaram a indústria sidero-metalúrgica brasileira baseada em carvão vegetal.

A primeira parte do trabalho trata do histórico do setor desde o seu início de operação, até os números atuais de produção de carvão vegetal. Em seguida é questionado o papel da indústria que embora tenha reconhecido a importância do reflorestamento para a sua própria sobrevivência, não o procede de modo mais enfático, continuando assim a basear a maioria de seu consumo em carvão vegetal de mata nativa.

Parte desta falta de ênfase no reflorestamento pode ser atribuída à legislação florestal nacional, que em seu bojo não prevê o emprego de mecanismos que forcem, ao menos claramente, o reflorestamento em larga escala num futuro próximo por parte das empresas que empregam carvão vegetal.

**Boberg (1993):** elaborou um estudo de caso para um país altamente dependente de biomassa, no caso a Tanzânia, onde no setor doméstico e o industrial consomem respectivamente 84% e 37% da energia que precisam na forma de lenha.

---

<sup>9</sup> Ver Rosillo-Calle (1987), Moreira (1993) e Moreira et al. (1993).

O estudo centra atenção no mercado de comercialização de carvão vegetal, composto pelo coletor de lenha, o carvoejador, o intermediário, o comerciante e o usuário final.

O conhecimento do funcionamento do mercado local é necessário, tanto em termos de competitividade quanto em termos de valor social do preço do energético, a fim de permitir a elaboração de alternativas à dependência extremada do recurso. Estas alternativas se apresentam na forma de políticas adequadas ao uso do energético (por exemplo, o uso mais eficiente da lenha) e na tentativa de reparo de defeitos estruturais no sistema de comercialização e consumo.

**Heiser (1993):** este autor também elaborou um estudo de caso sobre a Tanzânia, porém sua abordagem se prendeu aos aspectos ambientais envolvidos na produção de carvão vegetal.

O terreno explorado para extração de lenha, neste país, tende a auto-recuperação. O tempo de recuperação pode se prolongar se no local for realizada qualquer atividade induzida como pasto de gado, queimadas ou períodos de cultivo longos.

O conhecimento ambiental de uma área permite determinar quais áreas são propícias a fornecer lenha em escala de produção.

Tendo em vista isso, a extração seletiva de lenha ao invés da indiscriminada, pode proporcionar a viabilidade de obtenção do recurso lenha enquanto capacitar a produção de carvão vegetal. A extração seletiva representa a escolha das espécies de mais baixo custo de produção e de melhor qualidade para o corte.

A fim de garantir a sustentabilidade desta atividade devem ser empregadas técnicas de gerenciamento pós-extração, que seriam o gerenciamento do corte, a

proteção do broto e as fertilizações. Este conjunto de ações permite a recuperação da floresta antes do próximo corte.

**Chidumayo (1993):** também trata de um estudo de caso de um país africano, a Zâmbia, e que à semelhança de Haiser (1993) se prende à ótica ambiental.

Na região de Miombo, existe uma indústria de carvão vegetal que é responsável pela remoção de 50% da cobertura vegetal original. Embora a região tenha potencial de auto-recuperação a partir de sementes ou de restos de troncos, a região do entorno das carvoarias sofre os efeitos do carvoejamento que afetam as sementes, os solos e as raízes. Por enquanto as carvoarias ocupam apenas 2 a 3% da área total desmatada, o que permite prever a recuperação parcial da vegetação local.

**Poole (1993):** aborda o emprego de biomassa pelos setores sidero-metalúrgico e sucralcooleiro brasileiro, referindo-se ao emprego de renováveis a base de biomassa ( álcool e carvão vegetal de florestas plantadas) como potenciais contribuintes para o sequestro de CO<sub>2</sub> da atmosfera.

Parte desta estratégia de mitigação do CO<sub>2</sub> passaria por um emprego mais eficiente do carvão vegetal e pelo aproveitamento integral dos gases despreendidos no carvoejamento.

Neste trabalho se define o limite espacial entre emprego de biomassa para fins energéticos e o desmatamento. Segundo o autor, o Centro-Sul do Brasil, sede de projetos sidero-metalúrgicos já há muito estabelecidos sofreu desmatamento visando a obtenção de carvão vegetal. Porém o Norte, que é sede recente de projetos semelhantes, sofre desmatamentos seculares que não guardam relação com a produção de insumos energéticos.

**Moreira (1993):** aborda os mecanismos geradores de CO<sub>2</sub> no Brasil, sua relação com os diversos setores industriais, além de sugerir políticas a serem empregadas, a fim de diminuir as emissões.

As renováveis respondem por cerca de 63% do consumo energético brasileiro, destes 37% são de energia hídrica e os 26% restantes atendidos pela biomassa, essencialmente, na forma de álcool e carvão vegetal. A transformação da biomassa em carvão vegetal, associada ao desmatamento, em conjunto com a queima de combustíveis fósseis são as duas principais fontes de emissão de CO<sub>2</sub> no País. O total de carbono jogado na atmosfera a cada ano varia entre 52 MtC para os combustíveis fósseis e 250-400 MtC para o desmatamento (apenas para a Região Amazônica).

Quanto às políticas de mitigação de emissões, poder-se-ia dar maior ênfase à conservação de energia empregada em conjunto com uma maior participação das renováveis. Também se evitando ao máximo o uso de floresta nativa para a produção de lenha ou de carvão vegetal, e por fim formando-se mecanismos de captura de CO<sub>2</sub>, por exemplo com a plantação de florestas.

**Medeiros (1993):** trata da produção atual de carvão vegetal no Brasil, tomando como foco o consumo do setor industrial de ferro-gusa e aço, que consome carvão vegetal em sua maioria oriundo de floresta nativa (60%).

A extração de lenha para produção de carvão vegetal guarda problemas ambientais e sociais comuns às discussões de outros autores<sup>10</sup>. Além destes problemas a exigência cada vez maior de acesso à lenha, tecnologias eficientes de conversão, distância de transporte e situações de mercado, tornam a participação do carvão vegetal no custo final do gusa majoritária (70%).

---

<sup>10</sup> Ver Heiser (1993), Chidumayo (1993) e Moreira (1993).

**Alcofarado (1993):** analisou o consumo brasileiro de biomassa na forma de lenha e carvão vegetal e teceu considerações sobre a sua utilização futura.

A plantação de florestas para consumo própria da sidero-metalurgia é uma tendência crescente, que poderia ser mais acelerada se parte do território nacional que não é agricultável (30%) fosse empregado para plantações energéticas.

Outro ponto a servir de estímulo ao emprego de biomassa, por parte da indústria, é a constatação que o preço do óleo combustível tem se mantido acima do preço do carvão vegetal desde 1981.

**Bezerra (1993):** apresenta a importância do consumo de lenha e carvão vegetal no Ceará, a partir de aspectos econômicos sociais, ambientais, tecnológicos e institucionais.

Tão importante quanto a repercussão ambiental do carvoejamento é a questão social envolvida, visto ser esta atividade meio de sustento de famílias pobres. A repercussão ambiental poderia ser minimizada através de ações que visem a técnicas mais racionais de exploração florestal, a tecnologias de transformação mais eficiente sem contudo ser esquecida a problemática social.

**Teixeira, Silva Júnior, Santos (1993):** estudaram a estrutura de consumo industrial de lenha e carvão vegetal no Rio Grande do Norte, e como este consumo tradicional (42% do total) por parte de cerâmicas, indústrias de garrafas e cimenteiras se comportaria frente a uma provável entrada de gás natural no mercado energético potiguar.

**Moreira, Colacchi, Martins, Pinhão, Herszterg (1993):** estudaram a participação da lenha e carvão vegetal na matriz energética nacional.

Ano a ano a participação da biomassa vem diminuindo, o que confronta com os pressupostos internacionais de desenvolvimento sustentável, que ensejam uma participação cada vez maior destes renováveis.



Os energéticos convencionais poderiam então ser paulatinamente substituídos por renováveis nos setores rural, industrial e doméstico urbano. A entrada das renováveis contribuiria para a diminuição das emissões, principalmente de carbono, provenientes da queima de combustíveis fósseis, por meio do plantio de florestas energéticas que capturariam o carbono emitido, assegurando a viabilidade de acesso ao recurso energético por parte dos usuários de biomassa.

## 1.6. COMENTÁRIOS FINAIS

Após a visão geral do emprego da biomassa no Mundo e no Brasil, segundo o uso energético e o estrato sócio-populacional que a utiliza, diversos pontos devem ser destacados:

- o uso da biomassa para fins energéticos se dá por populações de nível de renda muito baixo, em sua grande maioria residentes em países em desenvolvimento<sup>11</sup>, que não têm acesso à distribuição energética de eletricidade ou fósseis. Nestas condições, basicamente a biomassa é empregada na cocção doméstica e em pequenas indústrias (como a de curagem de fumo e olarias), na forma de lenha;
- o reconhecimento do binômio situacional **população pobre + biomassa**, faz com que persista a idéia que a biomassa é um recurso que deva ser abandonado à medida que surgem oportunidades de acesso a outros energéticos;
- devido a apresentar condições de transporte e armazenamento superiores à lenha o carvão vegetal se estabeleceu como insumo industrial, o que praticamente restringiu o uso da lenha ao meio doméstico (cocção);

---

<sup>11</sup> Aqui se desconsidera o uso europeu da lenha para fins de aquecimento.

- o uso de carvão vegetal favoreceu o surgimento de um mercado para a sua comercialização, o que por sua vez atraiu populações, antes usuárias de lenha, à produção de carvão vegetal em pequena escala;
- as populações pobres vêm na produção de carvão vegetal uma fonte de renda adicional, quando não única, paralela a pecuária e a agricultura de subsistência;
- da produção em pequena escala, em nível familiar, houve a evolução para a produção associada de diversas famílias, intensificando a exploração da cobertura vegetal (desmatamento);
- apesar de ser intensiva em matéria-prima, a exploração de biomassa contudo não o é em termos de mão-de-obra, visto que atividades como coleta, extração e carvoejamento podem ser desempenhados por um grupo relativamente pequeno de pessoas, o que entretanto torna o uso da biomassa intensivo em tempo;
- embora a produção de carvão vegetal contribua para o desmatamento, este não é a única atividade responsável por ele. Em países com intensas atividades pastoris, que são desenvolvidas em solos que apresentem carência de nutrientes, ou vegetação esparsa e/cu que possua um tempo relativamente longo de regeneração, ou ainda apresentem deficiência hídrica, o desmatamento pode se dar em ritmo mais acelerado que aquele provocado pela produção de carvão vegetal;
- no Brasil o uso de biomassa se dá essencialmente em uma parcela do setor rural, não atendida pela distribuição centralizada, e no setor industrial, em particular o sidero-metalúrgico, na forma de carvão vegetal, setor para o qual o carvão vegetal se constitui em sua pedra fundamental.

O capítulo seguinte mostrará que o carvão vegetal se agrega a outros insumos para constituir produção industrial, no caso a de ferro-gusa, porém conservando as características clássicas de emprego da biomassa como recurso energético, as quais são: a exploração da cobertura vegetal nativa e a produção de insumos por populações pobres.

---

## CAPÍTULO II: O FERRO GUSA E A ECONOMIA

---

### 2.0. INTRODUÇÃO

O objetivo deste capítulo é mostrar a dependência do gusa em relação ao carvão vegetal como insumo, bem como a situação em que a fabricação de gusa se insere quanto a outros setores industriais no tocante a custos de insumos e remunerações advindas da venda de seus produtos.

Esta abordagem se inicia pela apresentação dos diversos insumos ocorrentes na fabricação do gusa, passando em seguida ao cenário de produção anual da indústria guseira, com o delimitamento de sua estrutura por número e situação dos produtores.

Segue-se então uma exposição sobre os custos envolvidos na produção e o montante de investimentos do setor guseiro, finalizando-se com discussões a respeito da participação da produção e exportação de gusa na indústria brasileira.

No escopo deste trabalho, os dados tratados quanto ao emprego de carvão vegetal pela indústria guseira se prenderão sempre ao destaque de dois pólos de produção: o de Minas Gerais por ser já indústria estabelecida e fornecedor de tecnologia a todos os produtores nacionais, e ao pólo guseiro de Carajás, em virtude deste se tratar do pólo mais novo em ação, e de se encontrar num contexto de operação semelhante ao da indústria guseira mineira, isto é de fácil acesso à matéria-prima (a região onde está localizado o projeto possui extensa cobertura vegetal).

## 2.1. INSUMOS À PRODUÇÃO DO GUSA

De forma simplificada, os insumos do gusa podem se apresentar na seguinte composição e proporções para a produção de uma tonelada de ferro-gusa em alto-forno (Tabela 2.1):

Tabela 2.1 - Insumos necessários à produção de uma tonelada de ferro-gusa

| Insumo              | Tonelagem (t) | Proporção (%) |
|---------------------|---------------|---------------|
| Carvão Vegetal      | 0.85          | 32.43         |
| Minério de Ferro    | 1.60          | 61.06         |
| Minério de Manganês | 0.01          | 0.38          |
| Calcário            | 0.10          | 3.82          |
| Quartzo             | 0.06          | 2.29          |
| Total               | 2.62          | 99.98         |

Fonte: ASICA (1989) apud Machado (1992)

Destes insumos, os mais importantes relacionados ao curso do atual trabalho são o carvão vegetal e o minério de ferro. Embora o carvão mineral coqueificável também possa ser empregado na indústria guseira, este não será aqui abordado em profundidade.

As situações relativas a consumo e oferta dos insumos envolvidos na produção de gusa podem ser observados abaixo, iniciando pela Tabela 2.2 que é o consumo de carvão mineral coqueificável (destaque):

Tabela 2.2 - Consumo e compras de carvão mineral coqueificável (10<sup>3</sup> t)

| Ano  | Consumo Nacional | Consumo Importado | Total  | Compras Nacional | Compras Importado | Total  |
|------|------------------|-------------------|--------|------------------|-------------------|--------|
| 1983 | 1.009            | 4.767             | 5.776  | 961              | 4.795             | 5.756  |
| 1984 | 1.015            | 7.230             | 8.245  | 986              | 7.635             | 8.621  |
| 1985 | 1.093            | 7.606             | 8.699  | 1.104            | 7.385             | 8.489  |
| 1986 | 1.054            | 8.545             | 9.599  | 1.023            | 8.361             | 9.384  |
| 1987 | 737              | 9.104             | 9.771  | 711              | 9.562             | 10.273 |
| 1988 | 796              | 9.416             | 10.212 | 835              | 9.322             | 10.157 |
| 1989 | 948              | 9.523             | 10.471 | 777              | 9.419             | 10.196 |
| 1990 | 576              | 9.584             | 10.160 | 413              | 9.979             | 10.210 |
| 1991 | 20               | 10.103            | 10.123 |                  | 10.374            | 10.374 |
| 1992 |                  | 10.158            | 10.158 |                  | 10.082            | 10.082 |

Fonte: IBS (1993)

Na Tabela 2.3 seguinte, pode-se observar o consumo específico de coque e de óleo combustível do alto forno empregado na produção de ferro-gusa.

Tabela 2.3 - Consumo específico de coque e de óleo combustível em alto-forno (kg/t gusa)

| Ano  | Consumo de Coque | Consumo de Óleo Combustível* | Consumo de Combustível |
|------|------------------|------------------------------|------------------------|
| 1983 | 493              |                              | 493                    |
| 1984 | 491              |                              | 491                    |
| 1985 | 489              |                              | 489                    |
| 1986 | 488              | 1                            | 489                    |
| 1987 | 476              | 9                            | 485                    |
| 1988 | 475              | 4                            | 479                    |
| 1989 | 480              | 5                            | 485                    |
| 1990 | 494              |                              | 494                    |
| 1991 | 471              | 3                            | 474                    |
| 1992 | 505              | 9                            | 514                    |

Fonte: IBS (1993)

\* excluído o óleo com fins térmicos

A Tabela 2.4 seguinte, mostra o consumo de minério de ferro no setor siderúrgico, tanto dos produtores integrados quanto dos independentes.

Tabela 2.4 - Consumo de minério de ferro na siderurgia (10<sup>3</sup> t)

| Ano  | Exportação | Consumo* Siderurgia | Consumo** Independentes | Total  |
|------|------------|---------------------|-------------------------|--------|
| 1983 | 69.008     | 15.552              | 4.144                   | 19.696 |
| 1984 | 87.179     | 20.594              | 5.852                   | 26.446 |
| 1985 | 89.394     | 22.673              | 6.433                   | 29.106 |
| 1986 | 91.603     | 23.508              | 7.581                   | 31.089 |
| 1987 | 95.332     | 24.948              | 7.403                   | 32.351 |
| 1988 | 112.815    | 27.177              | 7.253                   | 34.430 |
| 1989 | 118.472    | 29.151              | 8.137                   | 37.288 |
| 1990 | 113.511    | 24.888              | 8.592                   | 33.480 |
| 1991 | 113.623    | 24.179              | 7.328                   | 31.507 |
| 1992 | 105.011    | 27.207              | 6.732                   | 33.939 |

Fonte: IBS (1993)

\* empresas integradas

\*\* 1, 68 kg/t de ferro-gusa produzida

O manganês faz parte dos insumos principais do gusa, entrando diretamente no alto-forno, junto com o minério de ferro e o carvão. O consumo de manganês na siderurgia pode ser acompanhado na Tabela 2.5:

Tabela 2.5 - Consumo de manganês na siderurgia (10<sup>3</sup> t)

| Ano  | Exportação | Produção Própria Siderurgia | Aquisição no Mercado Siderurgia | Consumo Siderurgia |
|------|------------|-----------------------------|---------------------------------|--------------------|
| 1983 | 747        | 32                          | 116                             | 164                |
| 1984 | 879        | 40                          | 218                             | 258                |
| 1985 | 909        | 54                          | 216                             | 271                |
| 1986 | 766        | 67                          | 152                             | 215                |
| 1987 | 665        | 60                          | 178                             | 239                |
| 1988 | 1.049      | 59                          | 221                             | 261                |
| 1989 | 1.035      | 44                          | 283                             | 322                |
| 1990 | 924        | 44                          | 229                             | 266                |
| 1991 | 854        | 54                          | 237                             | 269                |
| 1992 | 562        | 36                          | 219                             | 296                |

Fonte: IBS (1993)

O calcário e a dolomita que são utilizados como redutores no alto forno, têm a seguinte participação na sidero-metalurgia (Tabelas 2.6 e 2.7):

Tabela 2.6 - Consumo de dolomita na siderurgia ( $10^3$  t)

| Ano  | Produção Própria Siderurgia | Aquisição no Mercado Interno | Consumo |
|------|-----------------------------|------------------------------|---------|
| 1983 | 366                         | 223                          | 610     |
| 1984 | 279                         | 189                          | 446     |
| 1985 | 569                         | 270                          | 772     |
| 1986 | 685                         | 293                          | 931     |
| 1987 | 795                         | 281                          | 991     |
| 1988 | 699                         | 355                          | 1000    |
| 1989 | 759                         | 415                          | 1.152   |
| 1990 | 663                         | 384                          | 1.027   |
| 1991 | 563                         | 504                          | 951     |
| 1992 | 600                         | 377                          | 939     |

Fonte: IBS (1993)

Tabela 2.7 - Consumo de calcário na siderurgia ( $10^3$  t)

| Ano  | Produção Própria Siderurgia | Aquisição no Mercado Interno | Consumo |
|------|-----------------------------|------------------------------|---------|
| 1983 | 1.161                       | 1.771                        | 2.785   |
| 1984 | 1.274                       | 2.429                        | 3.655   |
| 1985 | 1.471                       | 2.670                        | 4.204   |
| 1986 | 1.413                       | 2.318                        | 3.597   |
| 1987 | 1.460                       | 2.477                        | 3.804   |
| 1988 | 1.592                       | 3.195                        | 4.528   |
| 1989 | 1.499                       | 3.300                        | 4.963   |
| 1990 | 1.773                       | 2.495                        | 4.243   |
| 1991 | 1.073                       | 3.571                        | 4.516   |
| 1992 | 1.214                       | 3.318                        | 4.608   |

Fonte: IBS (1993)

A geração própria e a externa de eletricidade pela siderurgia está presente na

Tabela 2.8:

Tabela 2.8 - Consumo de eletricidade na siderurgia (MWh)

| Ano  | Geração Própria Siderurgia | Suprimento Externo | Consumo    |
|------|----------------------------|--------------------|------------|
| 1983 | 539.930                    | 8.496.198          | 9.036.127  |
| 1984 | 1.278.715                  | 9.643.172          | 10.921.887 |
| 1985 | 1.289.171                  | 10.633.500         | 11.922.671 |
| 1986 | 1.316.144                  | 11.451.280         | 12.767.424 |
| 1987 | 1.312.315                  | 11.724.799         | 13.037.114 |
| 1988 | 1.533.803                  | 12.362.853         | 13.896.656 |
| 1989 | 1.516.861                  | 12.809.886         | 14.326.747 |
| 1990 | 1.520.921                  | 10.703.053         | 12.223.974 |
| 1991 | 1.643.945                  | 10.835.150         | 12.479.095 |
| 1992 | 1.714.873                  | 11.351.146         | 13.066.019 |

Fonte: IBS (1993)

Já o consumo de óleo combustível e de diesel na siderurgia pode ser apreciado na Tabela 2.9:

Tabela 2.9 - Consumo de óleo combustível e de óleo diesel na siderurgia (t)

| Ano  | Compras de Óleo Combustível Siderurgia | Consumo de Óleo Combustível | Compras de Óleo Diesel Siderurgia | Consumo de Óleo Diesel |
|------|--|-----------------------------|-----------------------------------|------------------------|
| 1983 | 556.571                                | 556.292                     | 14.623                            | 14.431                 |
| 1984 | 572.618                                | 584.440                     | 19.254                            | 19.046                 |
| 1985 | 505.892                                | 511.175                     | 20.802                            | 20.497                 |
| 1986 | 451.116                                | 453.309                     | 19.973                            | 20.187                 |
| 1987 | 412.263                                | 411.788                     | 25.851                            | 24.983                 |
| 1988 | 499.876                                | 507.117                     | 22.751                            | 22.543                 |
| 1989 | 450.676                                | 451.323                     | 24.841                            | 25.247                 |
| 1990 | 367.312                                | 369.539                     | 21.813                            | 22.165                 |
| 1991 | 393.260                                | 390.997                     | 20.853                            | 20.558                 |
| 1992 | 470.702                                | 454.350                     | 22.112                            | 21.610                 |

Fonte: IBS (1993)

Ao se converter os insumos energéticos (à exceção do carvão vegetal) a uma unidade comum (tEP), ter-se-á o seguinte quadro (Tabela 2.10 e Gráfico 2.1), no qual se observa um número expressivo de consumo tanto de óleo diesel quanto de combustível, embora os insumos mais importantes do quadro sejam a eletricidade e o carvão coqueificável.

Tabela 2.10 - Consumo de insumos energéticos na siderurgia em tEP

| Ano  | Carvão Mineral Nacional | Carvão Mineral Importado | Eletricidade | Óleo Diesel | Óleo Combust. |
|------|-------------------------|--------------------------|--------------|-------------|---------------|
| 1983 | 635670                  | 3494211                  | 2620476.8    | 14363.24    | 519498.75     |
| 1984 | 639450                  | 3299590                  | 3167347.2    | 18956.58    | 545785.03     |
| 1985 | 688590                  | 5575198                  | 3457574.6    | 20400.77    | 477365.79     |
| 1986 | 664020                  | 6263485                  | 3702553      | 20092.22    | 423327.06     |
| 1987 | 476910                  | 6607262                  | 3780763.1    | 24685.70    | 384552.27     |
| 1988 | 501480                  | 6901928                  | 4030030.2    | 22437.16    | 473576.19     |
| 1989 | 597240                  | 6900359                  | 4154756.6    | 25128.46    | 421472.42     |
| 1990 | 362880                  | 7023072                  | 3544952.5    | 22060.93    | 345097.62     |
| 1991 | 12600                   | 7405499                  | 3618937.6    | 20461.48    | 365136.39     |
| 1992 |                         | 7443814                  | 3789145.5    | 21508.54    | 424299.21     |

Fonte: IBS (1993)

1t carvão mineral nacional : 0,630/tEP;  
 1t carvão mineral importado: 0,733/tEP;  
 1 m<sup>3</sup> diesel: 0,848/tEP;  
 1 m<sup>3</sup> óleo combustível: 0,946/tEP.  
 1 MWh: 0,29 tEP.

A Tabela 2.10 mostra que o consumo de carvão mineral importado (destaque) é superior ao nacional. O consumo deste último vem diminuindo gradativamente oposto ao importado cuja participação aumenta a cada ano.

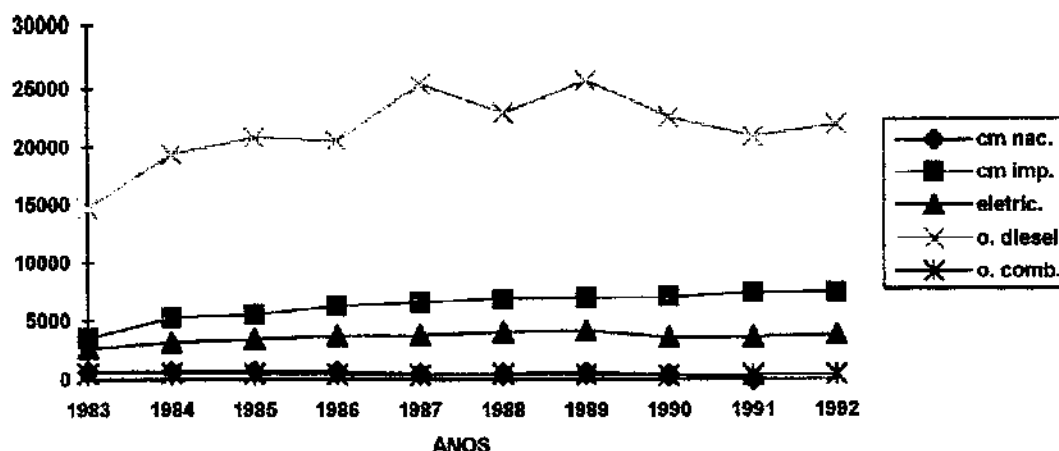
A maior participação do carvão importado se justifica por este apresentar melhor qualidade que o nacional, apresenta menos enxofre, entre 1-2%, e cinzas, teor



inferior a 15%) enquanto o nacional possui teores de enxofre de até 5% e de 60% de cinzas.

GRÁFICO 2.1

## CONSUMO ENERGÉTICO NA SIDERURGIA (TEP)



Fonte: IBS (1993)

De todos os insumos aqui tratados, o carvão vegetal é o que merecerá maior detalhamento, por ser objeto de estudo deste trabalho. A produção de carvão vegetal para a sidero-metalurgia, e em particular à indústria guseira, é originária de duas frentes; a primeira é o carvão produzido a partir de mata nativa, e a segunda é a de produção através de florestas plantadas homogêneas com árvores do gênero *Eucaliptus*.

Atualmente, a demanda de carvão vegetal ainda é atendida em cerca de 60% por carvão vegetal de mata nativa. Em grande parte os demandantes desse percentual são os produtores independentes de ferro-gusa, que não possuem plantações com fins energéticos como já alguns produtores integrados possuem. Os independentes terminam por comprar lenha ou carvão vegetal de terceiros, e assim incentivam o desmatamento.

O cenário em que se insere o carvão vegetal pode ser acompanhado a partir da

Tabela 2.11:

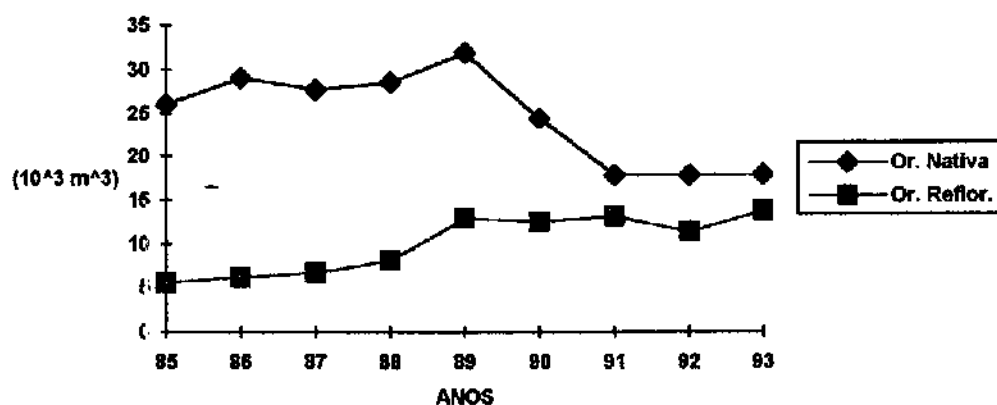
Tabela 2.11 - Consumo de carvão vegetal origem nativa e reflorestamento ( $10^3 \text{ m}^3$ )

| Ano  | Carvão Vegetal<br>Origem Nativa | Carvão Vegetal<br>Origem Reflorestamento |
|------|---------------------------------|--|
| 1983 | 18243                           | 4087                                     |
| 1984 | 24597                           | 5010                                     |
| 1985 | 26085                           | 5501                                     |
| 1986 | 29049                           | 6065                                     |
| 1987 | 27725                           | 6624                                     |
| 1988 | 28563                           | 8056                                     |
| 1989 | 31900                           | 12903                                    |
| 1990 | 24355                           | 12547                                    |
| 1991 | 17876                           | 13102                                    |
| 1992 | 17826                           | 11351                                    |
| 1993 | 17923                           | 13777                                    |

Fonte: ABRACAVE (1993/94)

GRÁFICO 2.2

CONSUMO DE CARVÃO VEGETAL ORIGEM NATIVA E DE  
REFLORESTAMENTO



Fonte: ABRACAVE (1993/94)

Pode-se observar que o consumo de carvão vegetal nativo (destaque) é historicamente superior ao de carvão vegetal oriundo de reflorestamento. Porém, a partir de 1989, o consumo de carvão vegetal nativo caiu drasticamente coincidindo com o aumento do consumo do carvão vegetal de reflorestamento. O consumo deste último

está aumentando paulatinamente, enquanto o de carvão nativo vem se mantendo aproximadamente constante.

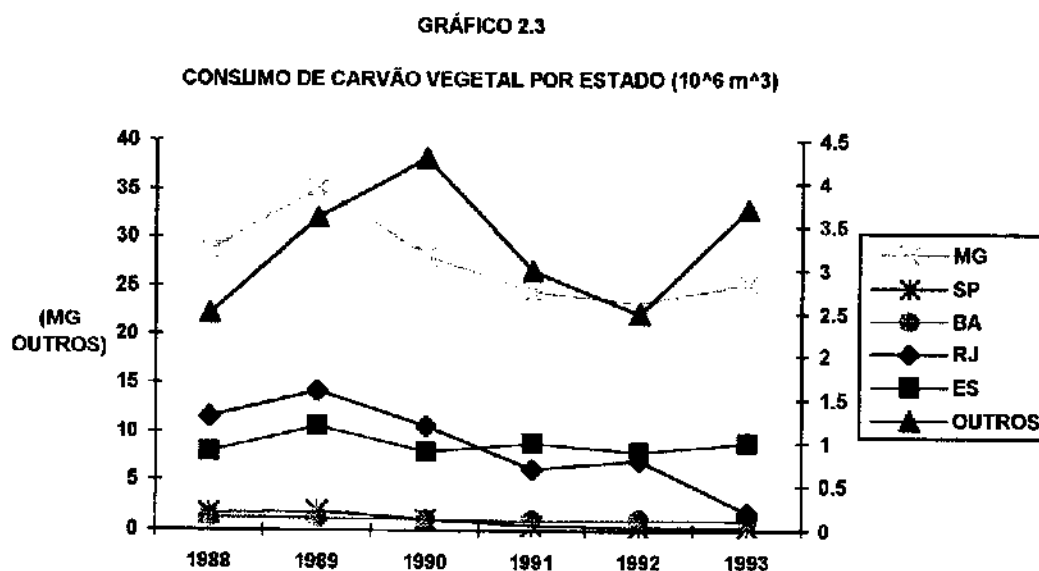
O aumento do consumo de carvão vegetal de reflorestamento reflete a preocupação do setor guseiro em aumentar a participação deste, visto que existem restrições legais e de mercado no uso do carvão vegetal nativo<sup>1</sup>.

O consumo de carvão vegetal se dá segundo Estados (Tabela 2.12) e segundo setores industriais (Tabela 2.13). Por ordem de importância, os principais Estados consumidores de carvão vegetal estão no Gráfico 2.3 (MG na escala de 0-40 mil):

Tabela 2.12 - Consumo de carvão vegetal por Estado ( $10^3 \text{ m}^3$ )

| Estado         | 1988  | 1989  | 1990  | 1991  | 1992  | 1993  |
|----------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Minas Gerais   | 28713 | 35132 | 28103 | 24551 | 23301 | 25360 |
| São Paulo      | 1788  | 1915  | 1108  | 589   | 352   | 353   |
| Bahia          | 1239  | 1243  | 1122  | 1019  | 1107  | 963   |
| Rio de Janeiro | 1359  | 1663  | 1243  | 773   | 874   | 242   |
| Espírito Santo | 957   | 1206  | 931   | 1005  | 948   | 1006  |
| Outros         | 2563  | 3644  | 4395  | 3041  | 2595  | 3776  |

Fonte: ABRACAVE(1993/94)



Fonte: ABRACAVE (1993/94)

<sup>1</sup> Ver Capítulo VII, item 7.1.1.

Vê-se que o Estado de Minas Gerais (destaque) é o maior consumidor de carvão vegetal, individualmente, pois este é reduto histórico da siderurgia a carvão vegetal e ainda é local de maior concentração dos produtores de gusa.

Por seu turno, o consumo de carvão vegetal por setores industriais - segundo produtores integrados e independentes está presente na **Tabela 2.13**. Os setores produtores de ferroligas, cimento e de metais primários estão apresentados com fins puramente ilustrativos.

**Tabela 2.13 - Consumo de carvão vegetal segundo setores industriais ( $10^6 \text{ m}^3$ )**

| Setor Industrial | 1988 | 1989 | 1990 | 1991 | 1992 | 1993 |
|------------------|------|------|------|------|------|------|
| Integradas a Aço | 11.3 | 11.7 | 9.4  | 7.8  | 6.7  | 8    |
| Gusa             | 16.4 | 21.3 | 18.6 | 14.9 | 14   | 15.3 |
| Ferroligas       | 3.4  | 4.1  | 3.1  | 3    | 2.9  | 3.1  |
| Cimento          | 3.1  | 2.5  | 2.2  | 1.5  | 1.3  | 1.5  |
| Metais Primários | 1.3  | 1.6  | 1.6  | 1.3  | 1.2  | 0.7  |
| Outros           | 1.2  | 3.6  | 2.9  | 2.4  | 3    | 3.1  |

Fonte: ABRACAVE (1993/94)

Pode-se observar na **Tabela 2.13** a predominância de consumo em carvão vegetal do setor guseiro (destaque), seguido pelo setor produtor de aço que utiliza o gusa como insumo.

O consumo de carvão vegetal na siderurgia pode ser acompanhado na **Tabela 2.14**, onde se mostra o percentual de consumo do maior demandante de carvão vegetal - Minas Gerais - em relação ao restante do Brasil.

**Tabela 2.14 - Consumo percentual de carvão vegetal na siderurgia de Minas Gerais em relação ao Brasil ( $10^3 \text{ m}^3$ )**

| Ano  | Brasil | Minas Gerais | MG/BR (%) |
|------|--------|--------------|-----------|
| 1983 | 19350  | 16446        | 85        |
| 1984 | 25157  | 21159        | 84        |
| 1985 | 26270  | 23579        | 90        |
| 1986 | 29602  | 25527        | 86        |
| 1987 | 29545  | 25495        | 86        |
| 1988 | 31087  | 27642        | 89        |
| 1989 | 37094  | 30278        | 82        |
| 1990 | 30183  | 25096        | 83        |
| 1991 | 25818  | 21646        | 84        |
| 1992 | 23784  | 19500        | 82        |
| 1993 | 26400  | 22704        | 86        |

Fonte: ABRACAVE (1993/94)

O carvão vegetal também entra como insumo na fabricação de aços e de ferroligas. Embora não seja objetivo do trabalho em curso a análise destes produtos, o consumo de carvão vegetal nestes setores serve aqui de parâmetro de comparação quanto a consumo e atividade em relação ao setor guseiro. As Tabelas 2.15, 2.16, 2.17 e 2.18 mostram o consumo de carvão vegetal (destaque) na fabricação de aço e ferroligas respectivamente. A Tabela 2.16a, mostra a posição do Brasil a nível mundial na produção de aço. Lembra-se que o gusa nacional exportado geralmente é destinado a produção de aço.

Tabela 2.15 - Consumo de carvão vegetal na produção de aço ( $10^3 \text{ m}^3$ )

| Ano  | Consumo de Carvão Vegetal |
|------|---------------------------|
| 1983 | 8517                      |
| 1984 | 10168                     |
| 1985 | 9800                      |
| 1986 | 10584                     |
| 1987 | 11392                     |
| 1988 | 11296                     |
| 1989 | 11663                     |
| 1990 | 8417                      |
| 1991 | 7838                      |
| 1992 | 6719                      |
| 1993 | 8026                      |

Fonte: ABRACAVE (1993/94)

Tabela 2.16 - Participação do carvão vegetal na produção de aço ( $10^3 \text{ t}$ )

| Ano  | Produção Total de Aço (A) | Produção a Carvão Vegetal (B) | B/A (%) |
|------|---------------------------|-------------------------------|---------|
| 1983 | 14671                     | 2844                          | 19.38   |
| 1984 | 18385                     | 3403                          | 18.50   |
| 1985 | 20450                     | 3372                          | 16.48   |
| 1986 | 21230                     | 3470                          | 16.34   |
| 1987 | 22228                     | 3304                          | 14.86   |
| 1988 | 24658                     | 3511                          | 14.23   |
| 1989 | 25055                     | 4691                          | 18.72   |
| 1990 | 20567                     | 4010                          | 19.49   |
| 1991 | 22617                     | 3786                          | 16.73   |
| 1992 | 23898                     | 3980                          | 16.65   |
| 1993 | 25204                     | 4335                          | 17.19   |

Fonte: ABRACAVE (1993/94)

Tabela 2.16a - Posição do Brasil na produção mundial\* de aço ( $10^6 \text{ t}$ )

| Produção de Aço                             | 1970            | 1980            | 1985           | 1990           | 1991           | 1992           |
|---|-----------------|-----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| Mundial                                     | 595.4           | 715.6           | 718.9          | 770.0          | 735.8          | 714.0          |
| A. Latina                                   | 13.2            | 28.9            | 35.8           | 38.5           | 39.4           | 41.4           |
| Brasil                                      | 5.4             | 15.3            | 20.5           | 20.6           | 22.6           | 23.9           |
| Posição Brasil em relação ao resto do mundo | 18 <sup>a</sup> | 10 <sup>a</sup> | 7 <sup>a</sup> | 8 <sup>a</sup> | 8 <sup>a</sup> | 8 <sup>a</sup> |

Fonte: IBS (1993)

\* os sete maiores produtores URSS, Japão, EUA, China, RFA, Coreia do Sul e Itália

Tabela 2.17 - Consumo de carvão vegetal na produção de ferroligas ( $10^3 m^3$ )

| Ano  | Consumo de Carvão Vegetal |
|------|---------------------------|
| 1983 | 1853                      |
| 1984 | 2170                      |
| 1985 | 2615                      |
| 1986 | 2819                      |
| 1987 | 2903                      |
| 1988 | 3433                      |
| 1989 | 4109                      |
| 1990 | 3145                      |
| 1991 | 2661                      |
| 1992 | 2909                      |
| 1993 | 3108                      |

Fonte: ABRACAVE (1993/94)  
IBS (1993)

Tabela 2.18 - Participação do carvão vegetal na produção de ferroligas (t)

| Ano  | Produção Total (A) | Produção a Carvão Vegetal (B) | B/A (%) |
|------|--------------------|-------------------------------|---------|
| 1983 | 596759             | 574465                        | 96      |
| 1984 | 690949             | 656134                        | 95      |
| 1985 | 757211             | 719924                        | 95      |
| 1986 | 811282             | 776612                        | 96      |
| 1987 | 823715             | 792365                        | 96      |
| 1988 | 972969             | 933231                        | 96      |
| 1989 | 1031871            | 995223                        | 96      |
| 1990 | 939277             | 910269                        | 97      |
| 1991 | 935280             | 904972                        | 97      |
| 1992 | 975320             | 952000                        | 98      |
| 1993 | 1019018            | 994549                        | 97      |

Fonte: ABRACAVE (1993/94)

## 2.2. A PRODUÇÃO DE FERRO-GUSA

A análise do setor guseiro e de sua utilização de carvão vegetal, deve, necessariamente, passar pela abordagem dos seguintes pontos: 1) a relação entre tonelagem de gusa produzida e a de carvão vegetal consumida; 2) número de produtores; 3) empregos gerados no setor e 4) impostos, investimentos e receitas.

Ao se detalhar o consumo de carvão vegetal pela siderurgia, apresentado na Tabela 2.13, desta feita para o setor de ferro-gusa, ter-se-á a seguinte situação (Tabela 2.19):

Tabela 2.19 - Consumo de carvão vegetal no setor de ferro-gusa ( $10^3 m^3$ )

| Ano  | Usinas Integradas<br>(A) | Produção Independente<br>(B) | (A)/(B)<br>(%) |
|------|--------------------------|------------------------------|----------------|
| 1983 | 8517                     | 8978                         | 94,86          |
| 1984 | 10168                    | 12819                        | 79,31          |
| 1985 | 9800                     | 13860                        | 70,70          |
| 1986 | 10584                    | 16232                        | 65,20          |
| 1987 | 11392                    | 15364                        | 74,14          |
| 1988 | 11296                    | 16392                        | 68,91          |
| 1989 | 11663                    | 21322                        | 54,69          |
| 1990 | 8417                     | 18621                        | 45,20          |
| 1991 | 7838                     | 14962                        | 52,38          |
| 1992 | 6719                     | 14027                        | 47,90          |
| 1993 | 8026                     | 15370                        | 52,21          |

Fonte: ABRACAVE (1993/94)

Este consumo de carvão vegetal foi utilizado na correspondente produção de ferro-gusa (Tabela 2.20):

Tabela 2.20 - Produção de ferro-gusa a coque e a carvão vegetal (t)

| Ano  | Produção a Coque | Produção a Carvão Vegetal<br>Integradas | Produção a Carvão Vegetal<br>Independentes |
|------|------------------|---|--|
| 1983 | 8091011          | 2383785                                 | 2466725                                    |
| 1984 | 10744429         | 3005412                                 | 3483553                                    |
| 1985 | 12131550         | 2999640                                 | 3840256                                    |
| 1986 | 12618396         | 3129050                                 | 4512350                                    |
| 1987 | 13714441         | 2815140                                 | 4406401                                    |
| 1988 | 15622786         | 3117043                                 | 4683460                                    |
| 1989 | 15747436         | 3610707                                 | 6092127                                    |
| 1990 | 12957700         | 2902300                                 | 5642603                                    |
| 1991 | 15465212         | 2702589                                 | 4553792                                    |
| 1992 | 16217635         | 2381044                                 | 4383373                                    |
| 1993 | 16439371         | 2846083                                 | 4803000                                    |

Fonte: ABRACAVE (1993/94)

A produção de gusa a coque passou de 8 milhões t para 16 milhões t em parte patrocinada pelo aumento da fatia de mercado (até 1989), e em parte pela facilidade de importação de carvão mineral. Neste mesmo período a produção das integradas ficou em torno dos 2 milhões t, estando hoje em dia (1995) próxima aos 3 milhões t. Já a produção das independentes (destaque), que de 2,4 milhões t passou a 4,8 milhões t (aumentando em 100%) foi patrocinada em parte pelas integradas e seu aumento de mercado, mais o aumento da parcela de mercado interna acompanhada de uma ligeira retração do externo.

A produção de ferro-gusa se encontra distribuída segundo três parâmetros: a) pelo número total de empresas; b) pelo número de altos fornos e; c) pela capacidade nominal de produção (t/ano).

Tomando como base o ano de 1993, pode-se discriminar o setor de siderurgia a carvão vegetal, com base nos três parâmetros, da seguinte forma (Tabela 2.21):

Tabela 2.21 - Discriminação do setor siderúrgico a carvão vegetal

| Empresa*                    | Número de Empresas | Número de Altos Fornos | Capacidade Nominal (t/ano) |
|-----------------------------|--------------------|------------------------|----------------------------|
| Integradas a Carvão Vegetal | 09                 | 21                     | 2529600                    |
| Independentes Ferro-Gusa    | 79                 | 144                    | 8551920                    |

Fonte: ABRACAVE (1994)

\* Excluindo as empresas produtoras de ferroligas

Ao se discriminar o subsetor de produtores independentes de ferro-gusa segundo Estado (Minas Gerais em destaque), número de fornos e capacidade instalada, ter-se-á (Tabela 2.22):

Tabela 2.22 - Discriminação do subsetor dos produtores independentes de ferro-gusa por Estado<sup>2</sup>

| Estado              | Número de Fornos | Capacidade Instalada | (%)  |
|---------------------|------------------|----------------------|------|
| Minas Gerais        | 124              | 6833920              | 80.1 |
| Espirito Santo      | 8                | 732000               | 8.6  |
| Maranhão*           | 7                | 594000               | 7.0  |
| Pará*               | 3                | 240000               | 2.8  |
| Rio Grande do Norte | 1                | 60000                | 0.7  |
| Mato Grosso do Sul  | 1                | 72000                | 0.8  |
| Total               | 144              | 8551920              | 100  |

Fonte: ABRACAVE (1994)

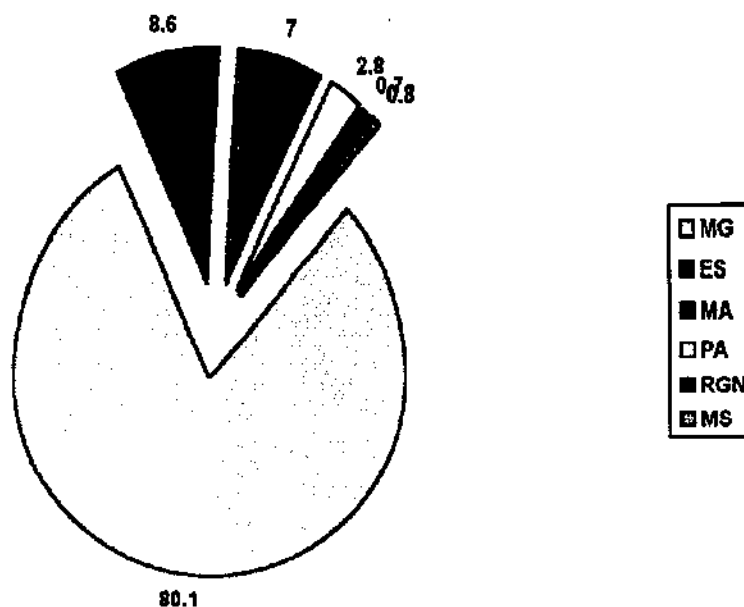
\* Projeto Grande Carajás

<sup>2</sup> Embora o norte de Tocantins também faça parte do Projeto Carajás, todavia não se encontra aqui discriminado por não haver dados disponíveis sobre produção guseira, ou mesmo carvoejamento. No caso de existir o carvoejamento, este deve se dar em nível muito regional.



GRÁFICO 2.4

DISTRIBUIÇÃO DOS PRODUTORES INDEPENDENTES DE FERRO-GUSA POR ESTADO



Fonte: ABRACAVE (1994)

### 2.3. OS CUSTOS DE SE PRODUIZIR FERRO-GUSA

Antes de se abordar a questão dos custos envolvidos na produção de ferro-gusa, faz-se oportuno uma breve exposição dos investimentos, receitas e impostos concernentes ao setor guseiro de modo geral.

Tomando-se um quadro geral do setor siderúrgico e de seus indicadores econômicos, onde considera-se folha de pagamento, faturamento, contribuições sociais e impostos, ter-se-á (Tabela 2.23):

Tabela 2.23 - Indicadores econômicos do setor siderúrgico

| Discriminação<br>(US\$ 10 <sup>6</sup> ) | 1986 | 1987 | 1988 | 1989  | 1990  | 1991 | 1992 |
|--|------|------|------|-------|-------|------|------|
| Folha Pagamento                          | 891  | 896  | 1076 | 2266  | 2368  | 1604 | 1609 |
| Faturamento                              | 7069 | 7742 | 9905 | 12672 | 10627 | 9117 | 9772 |
| Interno                                  | 5655 | 5977 | 6749 | 9106  | 7364  | 5695 | 6077 |
| Externo                                  | 1195 | 1479 | 2812 | 3112  | 2968  | 3254 | 3480 |
| Tributo Social                           | 374  | 356  | 371  | 596   | 582   | 382  | 402  |
| IAPAS                                    | 200  | 221  | 197  | 329   | 370   | 254  | 271  |
| Outros                                   | 174  | 135  | 174  | 267   | 212   | 128  | 131  |
| Imposto Pago                             | 935  | 954  | 1312 | 1546  | 1353  | 1037 | 1127 |
| IPI                                      | 230  | 238  | 334  | 407   | 356   | 268  | 288  |
| ICM                                      | 682  | 690  | 955  | 1108  | 961   | 731  | 797  |

Fonte: IBS (1993)

Como adendo aos indicadores econômicos, apresenta-se a seguir o quadro dos investimentos gerais no setor siderúrgico (Tabela 2.24):

Tabela 2.24 - Investimentos no setor siderúrgico (US\$ 10<sup>6</sup> FOB)

| Ano  | Produtos Planos Comuns | Produtos Longos Comuns | Produtos de Aços<br>Especiais | Total |
|------|------------------------|------------------------|-------------------------------|-------|
| 1986 | 396                    | 108                    | 44                            | 548   |
| 1987 | 260                    | 55                     | 50                            | 365   |
| 1988 | 273                    | 151                    | 72                            | 496   |
| 1989 | 260                    | 270                    | 71                            | 601   |
| 1990 | 179                    | 224                    | 91                            | 494   |
| 1991 | 196                    | 81                     | 62                            | 339   |
| 1992 | 210                    | 95                     | 36                            | 341   |

Fonte: IBS (1993)

A partir do quadro geral da siderurgia faz-se a particularização para o subsetor a a carvão vegetal, que será apresentado segundo a geração de impostos e o faturamento.

Os impostos gerados na siderurgia a carvão vegetal podem ser observados na

Tabela 2.25:

Tabela 2.25 - Impostos gerados na siderurgia a carvão vegetal (US\$ 10<sup>6</sup>)

| Ano                         | 1988  | 1989  | 1990  | 1991  | 1992  | 1993  |
|-----------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| <b>Integradas</b>           | 321.4 | 580.4 | 398.5 | 374.2 | 371.6 | 425.9 |
| ICMS                        | 171.9 | 301.7 | 192.9 | 166.6 | 179.9 | 221   |
| IPI                         | 65    | 129.5 | 91.7  | 78.1  | 79.7  | 95    |
| Tributo Social              | 84.5  | 149.2 | 113.9 | 129.5 | 112   | 109.9 |
| <b>Ferro-Gusa</b>           | 70.6  | 178.9 | 147.8 | 114.4 | 101.6 | 189.7 |
| ICMS                        | 36.3  | 63.8  | 47.8  | 33.6  | 30.2  | 58.4  |
| IPI                         | 10.8  | 17.6  | 13.2  | 8.4   | 7.5   | 11.8  |
| Tributo Social              | 23.5  | 97.5  | 147.8 | 69.4  | 63.9  | 119.5 |
| <b>Total</b>                | 392   | 759.3 | 546.3 | 485.6 | 473.2 | 615.6 |
| <b>Total ICMS</b>           | 208.2 | 365.5 | 240.7 | 200.2 | 210.1 | 279.4 |
| <b>Total IPI</b>            | 75.8  | 147.1 | 104.9 | 86.5  | 87.2  | 106.8 |
| <b>Total Tributo Social</b> | 108   | 246.7 | 200.7 | 198.9 | 175.9 | 229.4 |

Fonte: ABRACAVE (1993/94)

Já o faturamento do setor siderúrgico a carvão vegetal pode ser observado na

**Tabela 2.26:**

**Tabela 2.26 - Faturamento da siderurgia a carvão vegetal (US\$ 10<sup>6</sup>)**

| Ano                | 1988 | 1989 | 1990 | 1991 | 1992 | 1993 |
|--------------------|------|------|------|------|------|------|
| <b>Faturamento</b> |      |      |      |      |      |      |
| <b>Integradas</b>  | 2053 | 3357 | 2223 | 1895 | 2180 | 2504 |
| Externo            | 314  | 348  | 522  | 443  | 489  | 502  |
| Interno            | 1739 | 3009 | 1701 | 1452 | 1691 | 2002 |
| <b>Ferro-Gusa</b>  | 622  | 791  | 685  | 543  | 494  | 585  |
| Externo            | 299  | 351  | 417  | 312  | 282  | 290  |
| Interno            | 323  | 440  | 268  | 231  | 212  | 295  |
| <b>Total</b>       | 3026 | 4536 | 3298 | 2782 | 2982 | 3089 |
| Externo            | 613  | 699  | 939  | 755  | 771  | 792  |
| Interno            | 2062 | 3494 | 1969 | 1683 | 1903 | 2297 |

Fonte: ABRACAVE (1993/94)

### 2.3.1. A FORMAÇÃO DOS CUSTOS DO GUSA

Existem diversos parâmetros que devem ser considerados quando se trata da formação dos custos do gusa produzido em altos fornos a coque e/ou a carvão vegetal. Os principais seriam o coque ou carvão vegetal, o custo de capital, o preço do minério e o do sinter e o custo da mão-de-obra.

Geralmente o coque é o parâmetro mais importante, pois pode chegar a representar 45% do total de custos, em se tratando de fornos com capacidade de produção em torno de 70 t/d. Já para fornos situados na faixa de 10 mil t/d, estes custos podem atingir 64% do total (Tambasco, 1977).

Para os fornos na faixa de produção de 600 t/d, os custos de sinter e de minério de ferro podem ser mais representativos que os custos de capital. Estes por sua vez são mais representativos em fornos com capacidade abaixo de 600 t/d.

Outro parâmetro importante é o custo da mão-de-obra que diminui, à medida que a capacidade de produção vai aumentando. Para fornos na faixa de 600 t/d, o custo é inferior a 3%.

Os altos fornos a carvão vegetal apresentam como parâmetros mais significativos os custos de combustível. Quando os fornos têm capacidade de produção inferior a 70 t/d estes custos podem representar 35% dos custos totais. Para os fornos de maior capacidade, em torno de 1000 t/d, os custos com combustível podem atingir 50% do total de custos.

Num apanhado geral, os principais parâmetros envolvidos no custo final do gusa são citados como:

- custo da matéria-prima;
- custo da mão-de-obra;
- custo da energia elétrica e água;
- custos diversos (materiais refratários, ferramentas técnicas, reparos e manutenção, laboratório químico, serviço térmico e despesas gerais da usina);
- crédito de gás;
- custo de capital.

Todos estes parâmetros não possuem o mesmo peso na formação dos custos finais do gusa, porém todos se comportam em função da capacidade nominal de instalação, dos níveis de produção diários e dos coeficientes técnicos obtidos.

#### **custo da matéria-prima:**

O custo da matéria-prima se prende a diversos fatores: inicialmente o custo do minério de ferro e do sinter, em geral, é 50% menor que nos outros países. Já o custo

do coque nacional chega a oscilar entre 100% a 200% em relação ao custo do importado<sup>3</sup>.

Outro fator representativo no custo da matéria-prima é o custo do óleo combustível em si, e o valor deste em relação ao coque.

Todos os custos relacionados ao custo da matéria-prima, guardam certa relação com os custos diversos (que serão tratados mais adiante).

#### **custo da mão-de-obra:**

O custo da mão-de-obra que opera altos fornos pode ser representada pela seguinte relação (Tambasco, op. cit.):

$$(C_1 / C_2) = (M_1 / M_2)^n$$

onde:

$n = 0,6$

$C_1$  = capacidade do alto forno 1

$C_2$  = capacidade do alto forno 2

$M_1$  = homem-hora/tonelada de gusa no alto forno 1

$M_2$  = homem-hora/tonelada de gusa no alto forno 2

A qual demonstra a relação existente entre capacidade dos fornos e custos de mão-de-obra associados.

#### **custo da água e da eletricidade:**

Basicamente o custo da energia elétrica depende do consumo do equipamento, mais o custo do MWh que é função da tensão de fornecimento, da demanda, do fator de carga, do fator de potência e taxas e impostos que recaem sobre o consumo.

<sup>3</sup> Considerando-se custos de exploração e qualidade (impurezas e cinzas) do carvão.

Por sua vez a água (custo do m<sup>3</sup>) depende das condições de captação, filtragem e recirculação.

**custos diversos:**

Compreendem despesas relacionadas ao tempo de operação dos fornos, aperfeiçoamento e durabilidade dos equipamentos e controles térmicos e químicos.

Os custos diversos variam entre 5% a 10% do custo final do produto, sendo menor à medida que aumenta a capacidade de operação e a produtividade dos altos fornos.

**custos de capital:**

Para o ferro-gusa, como produto final, normalmente os custos de capital estão em torno de 15%. Estes por sua vez podem ocorrer da seguinte forma; como investimentos na produção (principalmente de aço) em equipamentos com vida útil de 20 anos, o que pode vir a representar 2/3 dos investimentos totais.

Também ocorrem na forma de investimentos em instalações permanentes, de vida útil em torno de 50 anos, o que pode representar 1/3 dos investimentos totais. Nas duas situações a depreciação ficaria em torno de 4% a.a.

Porém toda a discussão acima é genérica. De acordo com os objetivos deste trabalho, os custos do gusa devem envolver outros parâmetros além dos supra-citados. Por exemplo, considerando-se os redutores empregados e o carvão vegetal de origem nativa e de reflorestamento, segundo as diversas etapas de obtenção e/ou produção.

Fazendo um painel desta situação para o pólo guseiro de Carajás, ter-se-á os seguintes custos<sup>4</sup> (Machado, 1992) (Tabela 2.27):

---

<sup>4</sup> Estes custos serão comparados com os resultados a serem determinados no Capítulo VII.

Tabela 2.27 - Parâmetros envolvidos na fabricação de gusa no Pólo Guseiro de Carajás

| Discriminação/Opção                 | OP1<br>(US\$/t) | OP2<br>(US\$/t) | OP3<br>(US\$/t) | Parcela<br>(t) | OP1<br>(US\$) | OP2<br>(US\$) | OP3<br>(US\$) |
|-------------------------------------|-----------------|-----------------|-----------------|----------------|---------------|---------------|---------------|
| Carvão Vegetal<br>(t)               | 48.15           | 58.62           | 66              | 0.85           | 40.93         | 49.83         | 56.10         |
| Ferro<br>(t)                        | 10              | 10              | 10              | 1.60           | 16            | 16            | 16            |
| Manganês<br>(t)                     | 22.32           | 22.32           | 22.32           | 0.01           | 0.22          | 0.22          | 0.22          |
| Calcário<br>(t)                     | 30              | 30              | 30              | 0.10           | 3             | 3             | 3             |
| Quartzo<br>(t)                      | 4.50            | 4.50            | 4.50            | 0.06           | 0.27          | 0.27          | 0.27          |
| Eletricidade                        |                 |                 |                 |                | 3.40          | 3.40          | 3.40          |
| Pessoal Direto e<br>Indireto        |                 |                 |                 |                | 10            | 10            | 10            |
| Manutenção                          |                 |                 |                 |                | 2.50          | 2.50          | 2.50          |
| Despesas<br>Administrativas         |                 |                 |                 |                | 2             | 2             | 2             |
| <b>Subtotal</b>                     |                 |                 |                 |                | <b>78.32</b>  | <b>87.22</b>  | <b>93.49</b>  |
| Amortização                         |                 |                 |                 |                | 4.58          | 4.58          | 4.58          |
| Transporte<br>Frete                 |                 |                 |                 |                |               |               |               |
| Estiva                              |                 |                 |                 |                | 10            | 10            | 10            |
| <b>Custo Total FOB<br/>Estivado</b> |                 |                 |                 |                | <b>92.90</b>  | <b>101.80</b> | <b>108</b>    |

Fonte: ASICA (1989) apud Machado (1992)

NB:  $OP (US\$) = OP (US\$/t) \times Parcela (t)$ ;

OP1: carvão vegetal nativo;

OP2: carvão vegetal de manejo florestal;

OP3: carvão vegetal de reflorestamento.

Observa-se que o carvão vegetal de reflorestamento é a opção de maior custo final, seguido do carvão vegetal de manejo florestal, e por fim do carvão vegetal nativo.

O custo do carvão de manejo se deve aos dispêndios com a seleção das melhores espécies vegetais para o carvoejamento, contrariamente ao carvão nativo onde não há o processo de seleção, sendo que o carvoejamento deste último se dá indiscriminadamente quanto às espécies ou tipos vegetais.

Já o custo do carvão vegetal de reflorestamento se deve as diversas etapas envolvidas, desde o plantio da árvore até o carvoejamento:

- tempo de corte;
- manejo;
- controle de pragas, etc., até se atingir o produto final no carvoejamento.

## 2.4. AS RELAÇÕES DE EMPREGO NA SIDERURGIA A CARVÃO VEGETAL

De forma semelhante ao ítem 2.3, antes de se discriminar as relações de emprego na siderurgia a carvão vegetal, faz-se necessário uma apresentação inicial do quadro geral de oferta de empregos na siderurgia. Assim, o número de empregos na siderurgia, considerando o efetivo próprio das siderurgias e o de terceiros, se apresenta da seguinte forma (Tabela 2.28):

Tabela 2.28 - Número de empregos na siderurgia

| Efetivo                        | 1986   | 1987   | 1988   | 1989   | 1990   | 1991   | 1992   |
|--------------------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| <b>Próprio Total</b>           | 139153 | 136566 | 132385 | 137846 | 116880 | 107287 | 97868  |
| Produção                       | 110360 | 107413 | 101804 | 106210 | 90690  | 84662  | 79102  |
| Administração                  | 26131  | 26869  | 28052  | 29128  | 24413  | 21855  | 18343  |
| Expansão                       | 2662   | 2284   | 2529   | 2508   | 1777   | 770    | 423    |
| <b>Próprio em Exercício</b>    |        |        |        | 134046 | 112889 | 103214 | 94292  |
| Produção                       |        |        |        | 104275 | 88537  | 82369  | 77222  |
| Administração                  |        |        |        | 27293  | 22599  | 20093  | 16655  |
| Expansão                       |        |        |        | 2478   | 1753   | 752    | 415    |
| <b>Terceiros</b>               | 12116  | 11261  | 19461  | 39928  | 19768  | 19136  | 16116  |
| Produção                       | 6579   | 6046   | 12766  | 21011  | 13216  | 12553  | 12605  |
| Administração                  | 2764   | 2721   | 3255   | 4231   | 5762   | 6254   | 3052   |
| Expansão                       | 2773   | 2494   | 3440   | 9247   | 790    | 329    | 459    |
| <b>Atividades Siderúrgicas</b> | 151269 | 147827 | 151846 | 173974 | 132657 | 122350 | 110408 |
| <b>Outras Atividades</b>       | 4779   | 4133   | 5823   | 6370   | 3549   | 2917   | 3095   |

Fonte: IBS (1993)

A partir do quadro geral de empregos na siderurgia, pode-se fazer a discriminação do número de empregos no subsetor a carvão vegetal, com base no número de empregos referentes ao setor de reflorestamento, produção de carvão vegetal e siderurgia (Tabela 2.29).

Tabela 2.29 - Número de empregos na siderurgia a carvão vegetal

| Sector de Atividade      | 1988   | 1989   | 1990    | 1991   | 1992   | 1993   |
|--------------------------|--------|--------|---------|--------|--------|--------|
| Reflorestamento (1)      | 57444  | 51358  | 51266   | 48074  | 44300  | 49960  |
| Carvão Nativo (2)        | 130723 | 134600 | 1012088 | 75400  | 75200  | 75600  |
| Siderurgia Integrada (3) | 37639  | 46772  | 35216   | 33636  | 33800  | 31270  |
| Ferro-Gusa (4)           | 17960  | 22608  | 20000   | 18330  | 16200  | 18500  |
| Total                    | 243766 | 255338 | 207690  | 175441 | 169500 | 175330 |

Fonte: ABRACAVE (1993/94)

(1) implantação, manutenção, exploração florestal, fabricação e transporte de carvão vegetal;

(2) colheita, fabricação e transporte de carvão vegetal;

(3) empregos diretos na usina;

(4) empregos diretos na usina.



### 2.4.1. A RELAÇÃO ENTRE MÃO-DE-OBRA E TONELADA PRODUZIDA

A fim de se determinar a intensividade de mão-de-obra na indústria guseira, procede-se à determinação de um coeficiente que indique o quanto cada trabalhador é capaz de produzir anualmente, em ferro-gusa, aço e carvão vegetal.

Ao se tomar a produção nacional de aço e a de ferro-gusa, baseada em carvão vegetal, ter-se-á o coeficiente de intensividade em mão-de-obra, na fabricação do aço e do ferro-gusa (Tabela 2.30):

Tabela 2.30 - Produção anual (t) por trabalhador na siderurgia a carvão vegetal

| Produção           | 1988   | 1989   | 1990   | 1991   | 1992   | 1993   |
|--------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| Aço                | 93.28  | 100.29 | 113.86 | 112.55 | 117.75 | 138.63 |
| Gusa Integradas    | 82.81  | 77.19  | 82.41  | 74.40  | 70.44  | 91.01  |
| Gusa Independentes | 260.77 | 269.46 | 282.13 | 248.43 | 270.57 | 259.62 |

Fonte: ABRACAVE (1993/94)

Já a produção de carvão vegetal para a indústria guseira, em m<sup>3</sup>/ano por trabalhador, pode ser apreciada na Tabela 2.31:

Tabela 2.31 - Intensidade anual de carvão vegetal (m<sup>3</sup>) / t / por trabalhador na siderurgia a carvão vegetal

| Sector             | 1988  | 1989  | 1990  | 1991  | 1992  | 1993  |
|--------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Aço                | 33.31 | 35.81 | 40.66 | 40.19 | 42.05 | 45.51 |
| Gusa Integradas    | 21.90 | 20.42 | 21.80 | 19.68 | 18.63 | 24.07 |
| Gusa Independentes | 68.98 | 71.28 | 74.63 | 65.72 | 71.57 | 68.68 |

Fonte: ABRACAVE (1993/94)

### 2.5. O MERCADO DE GUSA

O mercado de gusa compõe-se de três partes principais: a produção nacional seja a carvão vegetal seja a coque, a exportação (atendimento do mercado exterior, Europa e Ásia) e a importação de gusa (atendimento da demanda interna). No que se refere a

produção nacional, esta pode ser discriminada segundo empresa produtora e processo, quanto a exportação esta pode ser discriminada segundo o país-destinatário, já a importação é discriminada quanto ao uso final pretendido.

A produção brasileira de ferro-gusa por empresa pode ser acompanhada na

**Tabela 2.32:**

**Tabela 2.32 - Produção brasileira de gusa por empresa (10<sup>3</sup> t)**

| Empresa          | 1987 | 1988 | 1989 | 1990 | 1991 | 1992 |
|------------------|------|------|------|------|------|------|
| Acesita          | 535  | 623  | 548  | 545  | 542  | 559  |
| Aço Minas        | 1816 | 2038 | 1766 | 1866 | 1944 | 1978 |
| Aliperti         | 198  | 214  | 217  | 53   |      |      |
| Barbará          | 41   | 81   | 46   | 79   | 76   | 95   |
| Barra Mansa      | 139  | 216  | 220  | 170  | 155  | 160  |
| Belgo Mineira    | 826  | 968  | 901  | 838  | 817  | 825  |
| Cimetal          | 197  | 12   |      |      |      |      |
| Cosigua          | 352  | 378  | 826  | 637  | 414  | 467  |
| Cosipa           | 2106 | 2803 | 3267 | 2765 | 2828 | 3025 |
| CSN              | 3782 | 3850 | 3413 | 2852 | 3603 | 4267 |
| CST              | 3331 | 3123 | 3238 | 2190 | 3128 | 3085 |
| Ferro Brasileiro | 26   | 44   | 43   | 54   | 44   |      |
| Ferroeste        | 47   | 46   | 59   | 7    | 126  | 125  |
| Mannesmann       | 575  | 611  | 563  | 390  | 449  | 438  |
| Pains            | 238  | 225  | 231  | 248  | 245  | 258  |
| Riograndense     |      | 71   | 63   | 48   |      |      |
| Usiminas         | 2699 | 3834 | 4119 | 3285 | 3962 | 3863 |
| Independentes    | 4010 | 4317 | 4843 | 5114 | 4362 | 4007 |

Fonte: IBS (1993)

Vê-se que a produção total dos independentes (destaque) é superior às produções individuais de grandes siderúrgicas, como a CSN que somente os ultrapassa em 1992, motivada em parte pelo início do processo de privatização, que permitiu um reinvestimento no aumento de produção, e em parte pela ligeira retração na demanda interna de carvão vegetal (Ver Tabela 2.11).

Já a produção brasileira de ferro-gusa, segundo o processo, pode ser acompanhada na Tabela 2.33, onde se encontra destacada a produção baseada em carvão vegetal, que é inferior àquela obtida por meio de coque.

Convém ressaltar que a produção a coque está atualmente restrita às grandes siderúrgicas que operam em regime de produção integrada, na qual o ferro-gusa se constitui em insumo à produção de aço:

Tabela 2.33 - Produção brasileira de ferro-gusa, segundo o processo (10<sup>3</sup> t)

| Ano  | Alto Forno |                |       | Forno Elétrico de Redução | Total |
|------|------------|----------------|-------|---------------------------|-------|
|      | Coque      | Carvão Vegetal | Total |                           |       |
| 1987 | 13775      | 6976           | 20731 | 213                       | 20944 |
| 1988 | 15647      | 7575           | 23222 | 232                       | 23454 |
| 1989 | 15802      | 8325           | 24127 | 236                       | 24363 |
| 1990 | 12958      | 8016           | 20974 | 167                       | 21141 |
| 1991 | 15465      | 7065           | 22530 | 165                       | 22695 |
| 1992 | 16218      | 6764           | 22982 | 170                       | 23152 |

Fonte: IBS (1993)

A Tabela 2.34 mostra a tonelage exportada de ferro-gusa com os respectivos destinos para o ano de 1992:

Tabela 2.34 - Tonelage e destino das exportações de ferro-gusa, para o ano 1992

| Destino       | Toneladas | 10 <sup>3</sup> US\$ FOB | (%) US\$ FOB |
|---------------|-----------|--------------------------|--------------|
| Taiwan        | 605164    | 67269                    | 23.5         |
| Japão         | 337596    | 41384                    | 14.4         |
| EUA           | 323640    | 39764                    | 13.9         |
| Coreia do Sul | 225617    | 23467                    | 8.2          |
| Itália        | 165974    | 20179                    | 7            |
| Índia         | 139837    | 15222                    | 5.3          |
| Alemanha      | 89536     | 11818                    | 4.1          |
| Malásia       | 107088    | 11299                    | 3.9          |
| Turquia       | 80493     | 9439                     | 3.3          |
| Irã           | 51745     | 6486                     | 2.3          |
| Espanha       | 55318     | 6390                     | 2.2          |
| Bélgica       | 46798     | 5318                     | 1.9          |
| França        | 41403     | 5249                     | 1.8          |
| Países Baixos | 38369     | 4856                     | 1.7          |
| Reino Unido   | 34520     | 4608                     | 1.6          |
| Bangladesh    | 21908     | 2696                     | 0.9          |
| Suécia        | 14000     | 1799                     | 0.6          |
| Suíça         | 9642      | 1232                     | 0.4          |
| Portugal      | 9599      | 1207                     | 0.4          |
| China         | 9848      | 1083                     | 0.4          |
| Argentina     | 7951      | 1018                     | 0.4          |
| Outros        | 38190     | 4803                     | 1.7          |
| Total         | 2 454 236 | 286649                   | 100          |

Fonte: IBS (1993)

Na tabela acima, se for tomado o conjunto dos países europeus compradores do gusa brasileiro (destaque), ver-se-á que se trata do segundo maior mercado para o produto. Contudo, a rigidez das medidas de proteção ao meio-ambiente baixadas pelos europeus, pode fazer com que essa posição se modifique drasticamente.

Segundo os europeus, a compra de gusa, a partir de 1997, seria subordinada a produção de carvão vegetal de florestas plantadas<sup>5</sup>.

<sup>5</sup> Ver Capítulo VII, item 7.5.

O consumo aparente (diferença entre produção e exportação, desconsiderando a importação) está mostrado na **Tabela 2.35**:

**Tabela 2.35 - Consumo aparente de ferro-gusa (10<sup>3</sup> t)**

| Ano  | Produção | Exportação | Consumo Aparente |
|------|----------|------------|------------------|
| 1983 | 12945    | 1801       | 11144            |
| 1984 | 17230    | 2474       | 14756            |
| 1985 | 18961    | 2480       | 16481            |
| 1986 | 20163    | 2372       | 17791            |
| 1987 | 20944    | 2045       | 18889            |
| 1988 | 23454    | 2537       | 20917            |
| 1989 | 24363    | 2989       | 21374            |
| 1990 | 21141    | 3489       | 17652            |
| 1991 | 22695    | 2497       | 20198            |
| 1992 | 23152    | 2454       | 20698            |

Fonte: IBS (1993)

A exemplo do que foi mostrado na **Tabela 2.33**, a **Tabela 2.35** acima mostra uma quantidade de ferro-gusa destinada a consumo interno na forma de insumo pelas siderúrgicas integradas. Todavia a quantificação do real emprego de gusa na siderurgia pode ser observada na tabela seguinte (**Tabela 2.36**):

**Tabela 2.36 - Aquisição e consumo de ferro-gusa pelo setor siderúrgico (10<sup>3</sup> t)**

| Ano  | Aquisição no Mercado Interno | Consumo |
|------|------------------------------|---------|
| 1983 | 474                          | 10707   |
| 1984 | 952                          | 14157   |
| 1985 | 1219                         | 15961   |
| 1986 | 1356                         | 16716   |
| 1987 | 1286                         | 17774   |
| 1988 | 1456                         | 19174   |
| 1989 | 1693                         | 17878   |
| 1990 | 1260                         | 18329   |
| 1991 | 1566                         | 19326   |
| 1992 | 1870                         | 20552   |

Fonte: IBS (1993)

Ao se observar os anos de 1987 e 1990, ver-se-à que houve uma diminuição da aquisição de gusa no mercado interno, porém o consumo manteve-se em ascensão, refreando ligeiramente em 1989. Provavelmente tal se deva a uma leva de importação de gusa pelo setor siderúrgico nacional, ou então por um aumento na utilização de sucata. Todavia dentro das limitações deste trabalho não foi possível se determinar qual das duas considerações correspondem à realidade, ou mesmo se ambas correspondem.

## 2.6. COMENTÁRIOS FINAIS

- a grande maioria de carvão vegetal utilizado na sidero-metalurgia nacional ainda é proveniente de matas nativas, apesar das restrições legais<sup>6</sup> e aquisitivas (impostas por parte dos compradores);
- em parte devido as restrições legais e aquisitivas e em parte devido à melhoria nas condições de aquisição de carvão mineral importado, grandes siderúrgicas (integradas) vêm abandonando o carvoejamento e passando a operar inteiramente com coque mineral;
- apesar disso, olhada de um ponto de vista da tonelagem produzida, a produção de gusa a partir de carvão vegetal ainda responde pela segunda posição, só perdendo para aquela produzida a partir de coque. Na produção baseada em carvão vegetal, este pode responder pela maior parcela formadora do custo da tonelada de gusa. A participação do carvão vegetal pode variar entre 40 e 60%, respeitadas as condições sazonais, que por sua vez se relacionam as condições de transporte, e flutuações de mercado;
- o aumento do consumo de carvão vegetal produzido a partir de florestas plantadas foi favorecido pelas restrições impostas por compradores europeus. Todavia, o prazo estabelecido por estes para aquisição exclusiva de gusa “verde” é 1997, ano em que provavelmente a relação carvão vegetal nativo e de reflorestamento ainda estará em torno de 50% para ambos. A fim de evitar perder o seu segundo mercado mais importante, o setor de gusa explora a possibilidade de entrar em novos mercados,

---

<sup>6</sup> Ver Capítulo VII, item 7.1.1.

como o asiático, que hoje já é responsável pela maior importação, em nível individual, de gusa brasileiro (Taiwan);

- o Estado de Minas Gerais ainda responde pelo maior consumo e produção de carvão vegetal do País. Entretanto quase toda a cobertura nativa mineira foi retirada, e o restante sofre rígida fiscalização por parte dos órgãos governamentais a fim de permitir a sua exploração unicamente em condições de manejo. Porém as gusarias conseguem explorar matas nativas da região fronteira à Bahia, evitando assim a legislação, e ao mesmo tempo burlando-a já que existem percentuais estabelecidos de reflorestamento que devem ser cumpridos de modo a manter a produção de gusa;
- o mercado de gusa se encontra atualmente deprimido, apresentando em 1993 um faturamento inferior ao de 1988. Todavia o faturamento mais baixo observado nos últimos seis anos pesquisados (1988-1993) é aquele apresentado para o ano de 1992. O mercado deprimido provavelmente se deve a uma menor velocidade de operação industrial nos países compradores, bem como as restrições legais e ambientais supra-citadas;
- se novos mercados compradores - principalmente asiáticos forem incorporados à carteira de exportações guseiras é provável que a diminuição nas compras de gusa pela Comunidade Européia seja absorvida num tempo relativamente breve;
- apesar de as usinas integradas produzirem aço a partir de gusa (de maior valor de revenda), a produção total das independentes é superior à produção somada de gusa e aço das integradas, em termos de toneladas anuais produzidas por trabalhador. Embora o setor guseiro baseado em carvão vegetal seja mais disperso que o setor integrado, este apresenta um número maior de trabalhadores envolvidos

(considerando não só as atividades de produção e carvoejamento, mas também reflorestamento extração de lenha, transporte, etc.), o que ajuda este setor a apresentar um índice de intensividade de produção maior que o do setor integrado.

- Finalmente, tomando-se as **Tabelas 2.11, 2.19, 2.20 e 2.33** e extraindo-se os percentuais de participação de carvão vegetal de origem nativa (**CVN**) e de carvão vegetal de origem reflorestamento (**CVR**), mais as respectivas taxas de crescimento de consumo (**TX**) de 1983 a 1993, e comparando estas à taxa anual de crescimento da produção de ferro-gusa (**TXFG**) baseada em carvão vegetal ter-se-á:

| Ano  | CVN (%) | CVR (%) | CVN - TX (%) | CVR - TX (%) | TXFG (%) |
|------|---------|---------|--------------|--------------|----------|
| 1983 | 81.8    | 18.6    | 0            | 0            | 0        |
| 1984 | 83.1    | 16.9    | 33.5         | 22.6         | 33.69    |
| 1985 | 82.6    | 17.4    | 41.6         | 34.6         | 40.92    |
| 1986 | 82.7    | 17.3    | 57.7         | 48.4         | 57.44    |
| 1987 | 80.7    | 19.3    | 50.5         | 62.1         | 48.79    |
| 1988 | 78.0    | 22.0    | 55           | 97.1         | 60.72    |
| 1989 | 71.2    | 28.9    | 73.2         | 215.7        | 99.91    |
| 1990 | 66.0    | 34.0    | 32.2         | 207.0        | 76.05    |
| 1991 | 57.7    | 42.3    | -3.0         | 220.6        | 49.10    |
| 1992 | 61.1    | 38.9    | -3.3         | 177.7        | 39.37    |
| 1993 | 56.5    | 43.5    | -2.72        | 170.34       | 57.61    |

\*CVN + CVR = 100 % (destaque);

\*\*CVN-TX, CVR-TX e TXFG, as variações são tomadas em relação a 1983.

Onde se vê que a participação do carvão vegetal de origem nativa vem diminuindo a cada ano, chegando a apresentar taxas de crescimento negativas entre 1991 e 1993, enquanto a participação do carvão vegetal de reflorestamento, embora com uma pequena inflexão em 1992 venha aumentando.

Já a taxa anual de crescimento da produção de ferro-gusa baseada em carvão vegetal, entre 1983 e 1993 apresenta um valor médio de 56,36%. Tomando-se este percentual como taxa anual para produções futuras e o coeficiente de 3,78 m<sup>3</sup> de carvão vegetal para se produzir uma tonelada de gusa e a produtividade média de 35

$\text{m}^3$  /ha.ano para plantações de eucalipto e por fim a produção de gusa para o ano de 1993 de 7.649.083 t, pode-se ter uma idéia da quantidade de hectares a serem plantados anualmente a fim de manter a produção de gusa nos níveis de 1993.

Então, procedendo-se ao cálculo:

1 ha de  $35 \text{ m}^3$  /ha.ano x 7 anos =  $245 \text{ m}^3$  /ha; como 1 t ferro-gusa gasta  $3,78 \text{ m}^3$  de carvão vegetal (945 kg) em 7 anos  $245 \text{ m}^3$  /ha = 61.250 kg.ha de carvão vegetal (ou 95.550 kg.ha de lenha) capazes de produzir 64,81 t de ferro-gusa/ha;

Como a produção de 1993 foi igual a 7.649.083 t e um hectare produz 64,81 t de ferro-gusa/ha, seriam necessários para manter a produção de 1993 cerca de 118.023,19 ha/ano plantados, ou 2.023.566,9  $\text{m}^3$  de carvão vegetal. O Estado de Minas Gerais maior produtor de ferro-gusa do Brasil (86% da produção nacional em 1993) plantou em 1993 cerca de 46.225 ha, sendo 7.564 ha por produtores independentes e 38.661 ha pelo setor siderúrgico, representando um déficit de 71.798, 19 ha. Se tomando um crescimento anual de produção de gusa à taxa constante de 11,57% (com base nos 118.023,19 ha necessários a produção de 1993) o plantio anual deverá ser de 13.665 ha, o que é cerca de 35,31% do que é atualmente plantado em Minas Gerais. Com base nestes números pode-se dizer que as portas da siderurgia estão abertas ao coque e que a siderurgia a carvão vegetal de origem reflorestamento é inviável, do ponto de vista espacial pois a área demandada à produção de gusa anualmente é muito grande, permitindo assim a continuação da exploração da mata nativa para fins de carvoejamento.

O próximo capítulo tratará das características técnicas do carvão vegetal necessário à sidero-metalurgia, bem como a composição da madeira e as transformações que esta sofre durante o carvoejamento.



---

## **CAPÍTULO III: ANÁLISE DOS PROCESSOS DE PRODUÇÃO DE FERRO-GUSA E CARVÃO VEGETAL**

---

### **3.0. INTRODUÇÃO**

Após o estudo das diversas formas de como as populações utilizam a lenha e o carvão vegetal para satisfazer as suas necessidades energéticas, de como o carvão vegetal foi absorvido por vários setores industriais e da participação deste (produção/consumo) na sidero-metalurgia, faz-se necessário que a partir deste capítulo se tome conhecimento do carvão vegetal em nível de características técnico-físicas, i.e., segundo as propriedades mais adequadas ao seu uso industrial.

Todavia, a determinação dessas propriedades é função direta do comportamento da madeira (segundo a espécie vegetal e composição) frente ao carvoejamento.

Em seguida, já se tendo em mente as propriedades do carvão vegetal, ver-se-á como o alto forno se comporta operando a carvão vegetal. Após uma breve abordagem da operação com carvão vegetal e dos fatores limitantes de operação a ele relacionados, apresentam-se sugestões que visam a melhoria das operações dos altos fornos a carvão vegetal.

Finalmente são apresentados os quatro tipos de fornos de carbonização mais comuns, em termos de volume, condução do carvoejamento e tipo mais adequado à produção tanto em pequena quanto em escala industrial.

### 3.1. SÍNTESE DO PROCESSO DE PRODUÇÃO DO GUSA

A produção de gusa em alto-forno pode ser resumida em duas etapas:

A primeira trata da remoção do oxigênio, via as reações químicas entre os óxidos de ferro e carbono (na forma de carvão vegetal ou coque) e os óxidos presentes no minério de ferro o que libera monóxido e dióxido de carbono. O produto é então uma liga de ferro-carbono com alguns elementos como silício, fósforo e enxofre.

A segunda é a separação do metal produzido da parte restante não-metálica e das cinzas do carvão. Tal acontece quando a carga se funde e os componentes que flutuam sobre o banho metálico vão se agregar à escória. A fluidez da escória determina a temperatura do processo e por conseguinte a presença de fundentes na carga<sup>1</sup>. Na presença destes, a temperatura de fusão do ferro cai de 1537° C para 1200° C (Faleiro & Cortéz e Silva, 1994).

De acordo com os objetivos deste trabalho, o termo redutor será aplicado ao carvão vegetal. Entende-se como redutor o material que fornece átomos de carbono para as reações de redução do minério de ferro (Anexo C). Entretanto a função de redutor não é a única do carvão (tanto vegetal quanto mineral). O carvão também tem de responder por outras funções: uma delas é ser carburante, isto é, fornecer átomos de carbono para compor o ferro-gusa; também tem de ser combustível, ou seja, fornece calor para as reações endotérmicas de redução; e finalmente deve ter resistência mecânica suficiente para suportar o peso da coluna de carga no alto forno, composta de minério, fundente e carvão.

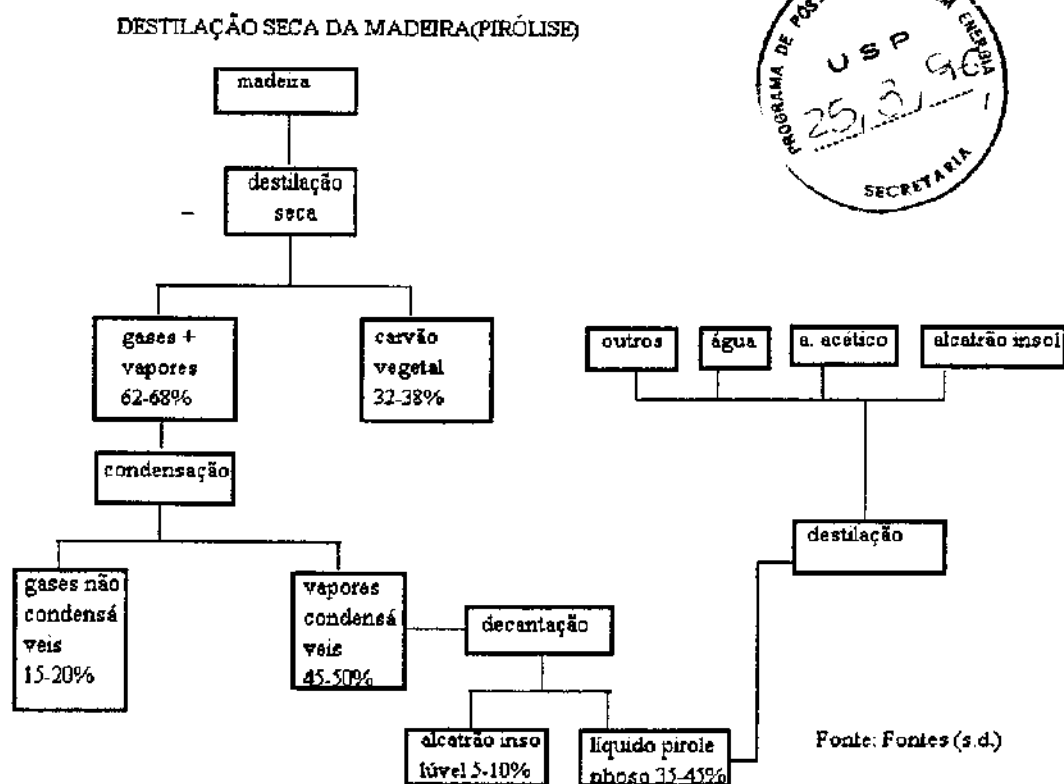
---

<sup>1</sup> Fundentes são materiais usados para abaixar a temperatura de fusão do ferro. O mais usado é o CaO.

### 3.2. PRODUÇÃO DE CARVÃO VEGETAL; DISCUSSÃO DO PROCESSO

Denomina-se de carbonização, o processo de destilação seca que sofre a madeira ao ser aquecida em ambiente fechado e com quantidades controladas de oxigênio. Este processo resulta em destruição dos componentes da madeira, modificação estrutural das fibras, e surgimento de novos produtos. Durante a carbonização são liberados gases ( $\text{CO}_2$ ,  $\text{CO}$ ,  $\text{H}_2$ ,  $\text{CH}_4$ , etc.), líquidos orgânicos (alcatrões, ácido acético, álcool metílico, etc.) e vapores d'água. O resíduo sólido restante é o carvão vegetal.

A dinâmica da carbonização pode ser apreciada de forma mais ilustrativa tomando-se o seguinte fluxograma:



Durante a carbonização, a temperatura da madeira vai aumentando progressivamente segundo o tempo de exposição ao calor. Ao se processar o aquecimento são identificadas cinco etapas ou intervalos de transformação da madeira.

(Oliveira et. al., 1982) (Figura 3.1). Estes são:

- etapa I:  $t_0 < t < t_1$  ;
- etapa II:  $t_1 < t < t_2$  ;
- etapa III:  $t_2 < t < t_3$  ;
- etapa IV:  $t_3 < t < t_4$  ;
- etapa V :  $t_4 < t < t_{\infty}$  .

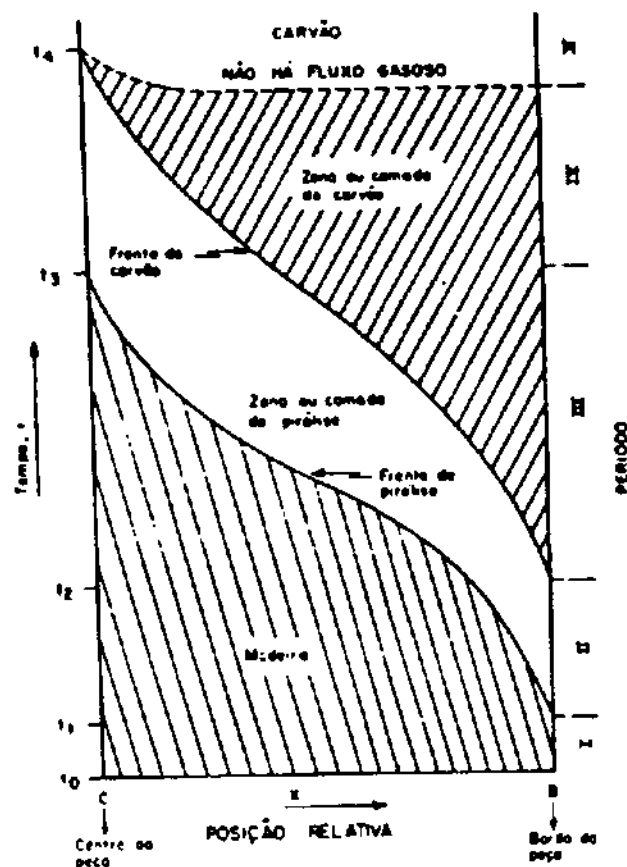


Figura 3.1 - Diagrama de carbonização proposto por Kanury e Blackshear (apud Oliveira et al., 1982)

O **intervalo  $t_0$** , ocorre a temperatura ambiente. Aqui a madeira não sofreu ainda modificação alguma, porém a partir do fornecimento de calor, iniciar-se-á um aumento progressivo de temperatura, ou seja, haverá a instalação de um gradiente térmico da periferia (mais quente) para o centro (mais frio).

No **intervalo  $t_1$**  dá-se o início da decomposição da madeira a partir da periferia. Aqui começa a se formar a “frente de pirólise”, localizada entre a superfície da madeira e a “zona ou camada de pirólise”. Até este intervalo a madeira não apresenta ainda qualquer modificação. Nesta etapa o calor se propaga por condução.

Durante a **etapa II** a zona de pirólise formada a partir de  $t_1$  vai progressivamente aumentando e avançando em direção ao centro da madeira. Sob a zona de pirólise a madeira ainda não apresenta modificações. Formam-se gases quentes na zona de pirólise, que são lançados ao exterior via convecção.

Já na **etapa III** começa a se formar o carvão. Concomitantemente coexistem três zonas distintas: a) a zona interna sob a camada de pirólise em que a madeira não sofreu ainda transformação; b) a zona intermediária ou de pirólise; e c) a zona de carvão já sem componentes volatizáveis. Nesta etapa a zona de pirólise atinge o centro da madeira, diminuindo a presença desta. Ocorre também a formação de gases efluentes na zona de carvão, que trocam calor via condução e convecção. Destes gases, aqueles mais pesados reagem com o leito de carvão já formado, originando gases mais leves, estes ao encontrarem o oxigênio atmosférico formam uma reação exotérmica - a combustão.

A **etapa IV** é marcada pelo desaparecimento da madeira, passando a existir apenas as zonas de pirólise e de carvão, sendo esta última já predominante.

Na **etapa V** a zona ou camada de carvão atinge o centro da madeira, tornando-se predominante. Então neste instante está encerrado o processo de combustão, pois

toda a madeira foi transformada em carvão e não existe mais fluxo gasoso. Ao contrário da madeira o carvão se caracteriza por sua baixa resistência mecânica e alta fragilidade.

Quanto as transformações composicionais que se processam na madeira durante a carbonização, estas podem ser agrupadas segundo quatro faixas de temperatura (Fontes, s.d.), que são:

I) de  $0^{\circ}\text{C}$  a  $200^{\circ}\text{C}$ ; nesta faixa a madeira seca e acontece a produção de gases não-combustíveis, vapores d'água e  $\text{CO}_2$ .

II) de  $200^{\circ}\text{C}$  até  $280^{\circ}\text{C}$ ; ainda estão presentes os gases da primeira faixa, porém o vapor d'água diminui e surge o  $\text{CO}$ . As reações químicas são endotérmicas.

III) de  $280^{\circ}\text{C}$  até  $500^{\circ}\text{C}$ ; aparecem os produtos combustíveis além de alcatrões  $\text{CO}$  e  $\text{CH}_4$ . Aqui as reações químicas são exotérmicas. Nesta faixa de temperatura ocorre a liberação de 210 calorias/kg de madeira.

IV) de  $500^{\circ}\text{C}$  em diante; aparecem reações secundárias catalizadas pelo leito de carvão já formado, sendo que à medida que a temperatura sobe há uma diminuição no volume de gás gerado, que é composto em sua maior parte de frações médias e pesadas de alcatrão.

O carbono e oxigênio ocorrem na madeira em proporções de 49% e 44% respectivamente. Após a carbonização estas se alteram para aproximadamente 82% de carbono e 13% de oxigênio. O processo de carbonização é pois se concentrar carbono e retirar oxigênio, elevando o conteúdo energético do material carbonizado.

A partir da observação das quatro faixas de temperatura que a madeira atravessa durante o processo de carbonização, fica evidente que os dois parâmetros mais importantes a serem considerados nesse processo (excluindo-se a qualidade da madeira, qualidade do carvão desejado e as transformações isoladas que ocorrem a nível químico

e estrutural) são o modo como a temperatura atua na carbonização e a velocidade do aquecimento.

a) **temperatura de carbonização:** esta é a variável mais importante a ser considerada no que diz respeito ao controle da qualidade do carvão, do seu rendimento e de seus compostos obtidos na destilação da madeira. As características do carvão podem ser modificadas apenas com o variar da temperatura. Da mesma forma, todas as modificações químicas ocorrentes são fortemente dependentes da temperatura.

O aumento da temperatura de carbonização destila a madeira em maior grau, o que irá retirar os voláteis do carvão, e estes por sua vez enriquecerão as fases líquida e gasosa, gerando mais líquido pirolenhoso e gás. Isto resultará numa diminuição do rendimento em carvão. Por sua vez, o teor de carbono fixo aumenta com a elevação da temperatura. Como o rendimento de carvão e o teor de carbono fixo são variáveis inversamente proporcionais, para se obter carvão com alto teor de carbono fixo há de se diminuir o rendimento gravimétrico do processo (Tabelas 3.1 e 3.2).

Tabela 3.1 - Rendimento em carvão e carbono fixo

| Carbonização (°C) | Umidade do Carvão (%) | Rendimento do Carvão Vegetal em Base Seca (%) | Rendimento do Carvão Vegetal em Base Úmida (%) | Rendimento em Carbono fixo * |
|-------------------|-----------------------|---|--|------------------------------|
| 450 (a)           | 4.17                  | 32.89   | 28.2   | 23.66                        |
| 550 (b)           | 2.97                  | 28.15   | 24.2   | 23.63                        |
| 700 (c)           | 2.41                  | 27.57   | 23   | 24.17                        |

Fonte: CETEC apud De Fontes (s.d)

\* rendimento em carvão (base seca) x [ carbono fixo (base úmida) / 100]

Tabela 3.2 - Análise química imediata (base seca) segundo a temperatura de carbonização

| Carbono Fixo (%) | Materiais Voláteis (%) | Cinzas (%) |
|------------------|------------------------|------------|
| 75.06 (a)        | 21.03                  | 3.91       |
| 86.53 (b)        | 10.12                  | 3.35       |
| 89.82 (c)        | 7.25                   | 2.93       |

Fonte: CETEC apud De Fontes (s.d.)

Embora o teor de carbono fixo e o rendimento em carvão variem em sentidos opostos, as proporções se mantêm de modo ao rendimento em carbono fixo permanecer constante

**b) velocidade de aquecimento:** as diferentes velocidades de aquecimento durante a carbonização, permitem que os rendimentos em alcatrão e carvão também variem, sendo que o mesmo vale para o carbono fixo. De Fontes (op. cit.) descreve experimentos realizados para se verificar o comportamento da velocidade de aquecimento e os compostos produzidos. Foram realizadas carbonizações a 430<sup>o</sup> C, em períodos de três horas, seis horas e três dias, o que corresponde a taxas de aquecimento de 2,3<sup>o</sup> C/min, de 1<sup>o</sup> C/min, e de 6<sup>o</sup> C/hora, respectivamente. As duas primeiras taxas correspondem aproximadamente àquelas obtidas por carbonização contínua em retorta e a última corresponde a fornos de alvenaria. Os resultados demonstraram que quanto mais lenta se processar a carbonização maior será o rendimento do carvão. Sintetizando estes resultados se obtêm as Tabelas 3.3 e 3.4.

**Tabela 3.3 - Rendimento em carvão, alcatrão e carbono fixo (base seca) em temperatura de 430 °C, com várias taxas de aquecimento**

| Taxa de Aquecimento | Carvão (%) | Alcatrão (%) | Carbono Fixo (%) |
|---------------------|------------|--------------|------------------|
| 2,3 °C/min (a)      | 34,1       | 9,6          | 26,30            |
| 1 °C/min (b)        | 35,5       | 8            | 27,73            |
| 6 °C/hora (c)       | 38,2       | 2,2          | 30,33            |

Fonte: CETEC apud Fontes (s.d.)

**Tabela 3.4 - Análise química imediata do carvão (base seca) segundo várias taxas de aquecimento**

| Carbono Fixo (%) | Materiais Voláteis (%) | Cinzas (%) |
|------------------|------------------------|------------|
| 79,15            | 19,94                  | 0,91       |
| 79,36            | 19,50                  | 1,15       |
| 79,03            | 19,83                  | 1,13       |

Fonte: CETEC apud De Fontes (s.d.)

A diminuição na taxa de aquecimento é acompanhada de um aumento no rendimento em carvão e carbono fixo, ocorrendo o inverso com o rendimento do alcatrão insolúvel. Portanto o aumento da taxa de aquecimento pode provocar uma



recuperação de alcatrão da ordem de cinco vezes maior que uma carbonização mais lenta.

### 3.2.1. CARACTERÍSTICAS DO CARVÃO VEGETAL DE OUTRAS ESPÉCIES VEGETAIS

Até agora tem-se falado das características e propriedades dos carvões produzidos a partir de Eucalipto, porém outras espécies vegetais podem ser empregadas na fabricação de carvão, algumas com rendimentos até superiores ao carvão de Eucalipto.

Fontes (op.cit) realizou um estudo com oito espécies de madeiras nativas da floresta amazônica que totalizou vinte e duas fornadas, sendo sete destas com todas as espécies em conjunto (Tabela 3.5), os seus resultados podem ser acompanhados a seguir:

Tabela 3.5 - Espécies empregadas no experimento e volume médio em metro estéreo

| Nome Comum       | Nome Científico                 | Volume Médio (kg/mst) |
|------------------|---------------------------------|-----------------------|
| Mista            |                                 | 630                   |
| Mista            |                                 | 590                   |
| Tachi preto      | <i>Sclerobium</i> sp.           | 610                   |
| Matá-matá jibóia | <i>Escheveiera amara</i>        | 672                   |
| Matá-matá jibóia | <i>Escheveiera amara</i>        | 680                   |
| Copaíba          | <i>Copaifera reticulata</i>     | 572                   |
| Matá-matá jibóia | <i>Escheveiera amara</i>        | 840                   |
| Jatobá           | <i>Hymenaea courbaril</i>       | 725                   |
| Tauari           | <i>Couratari</i> sp.            | 564                   |
| Fava             | <i>Parkia</i> sp.               | 414                   |
| Mista            |                                 | 966                   |
| Tauari           | <i>Couratari</i> sp.            | 587                   |
| Melancieira      | <i>Alexa grandiflora</i>        | 588                   |
| Breu             | <i>Trotinickia burserifolia</i> | 448                   |
| Mista            |                                 | 640                   |
| Mista            |                                 | 596                   |
| Mista            |                                 | 896                   |
| Mista            |                                 | 544                   |
| Mista            |                                 | 479                   |
| Tauari           | <i>Couratari</i> sp.            | 532                   |
| Copaíba          | <i>Copaifera reticulata</i>     | 603                   |
| Copaíba          | <i>Copaifera reticulata</i>     | 585                   |

Fonte: De Fontes (s.d.)

O forno utilizado nos experimentos possuía um volume de carga de 12 m<sup>3</sup>. Segundo o fabricante, este volume de carga num ciclo de operação de 48 horas pode render de 4 a 6 m<sup>3</sup> de carvão, levando-se em conta o tipo de lenha e o teor de umidade. Os experimentos desenvolvidos seguiram estas determinações, exceto o tempo proposto, que se restringiu à faixa de 15 a 26 horas de operação. O rendimento em carvão (base seca) por espécie obtido pode ser observado na Tabela 3.6 e sua análise química imediata na Tabela 3.7:

Tabela 3.6 - Rendimento em carvão (base seca) por espécie

| Espécie              | Volume Enfornado (st) | Período de Carbonização (horas) | Rendimento em Carvão (%) |
|----------------------|-----------------------|---------------------------------|--------------------------|
| Tachi preto (a)      | 5.87                  | 48:40                           | 36.9                     |
| Matá-matá jibóia (b) | 6.84                  | 50:30                           | 32.7                     |
| Copaíba (c)          | 7.13                  | 50:48                           | 27.5                     |
| Jatobá (d)           | 6.37                  | 49:30                           | 31.6                     |
| Tauari (e)           | 7.98                  | 50:30                           | 27.9                     |
| Fava (f)             | 7.99                  | 50                              | 13.8                     |
| Melancieira (g)      | 7.46                  | 48:40                           | 20.5                     |
| Breu (h)             | 7.77                  | 48:20                           | 22.5                     |
| Mista (todas) (i)    | 6.93                  | 50:30                           | 26.5                     |

Fonte: De Fontes (s.d.)

Tabela 3.7 - Análise química imediata de carvão

| Teor de Umidade (%) | Carbono Fixo (%) | Materiais Voláteis (%) | Teor de Cinzas (%) |
|---------------------|------------------|------------------------|--------------------|
| 4.24 (a)            | 72.81            | 25.46                  | 1.73               |
| 5.48 (b)            | 82.59            | 12.37                  | 5.02               |
| 7.31 (c)            | 81.78            | 15.74                  | 2.47               |
| 6.70 (d)            | 82.77            | 11.02                  | 6.20               |
| 7.46 (e)            | 88.75            | 8.66                   | 2.56               |
| 6.68 (f)            | 88.44            | 8.63                   | 2.92               |
| 7.30 (g)            | 89.19            | 9.29                   | 1.51               |
| 8.17 (h)            | 89.40            | 8.87                   | 1.71               |
| 7.07 (i)            | 85.09            | 13.36                  | 1.53               |

Fonte: De Fontes (s.d.)

Os experimentos conduzidos demonstraram que embora o volume de carga do forno utilizado fosse de 12 m<sup>3</sup>, as espécies de madeira utilizadas responderam por um volume de carga entre 5,87 a 7,99 metros estéreos (st), sendo o valor médio de 7,15 mst que resultava numa fornada média de 5,15 m<sup>3</sup> de madeira. Neste tipo de forno (12 m<sup>3</sup>), as especificações recomendam um período de carbonização entre 8 e 14 horas, porém os experimentos mostraram períodos de carbonização de 15 a 24:30 horas, estando o

período total de carvoejamento entre 48:20 a 50:48 horas, com um valor médio de 49:52 horas.

Quanto ao rendimento gravimétrico do carvão (peso base seca), obteve-se um rendimento médio de 26,6%, correspondente a 731 kg de carvão/fornada (faixa de variação entre 328 a 1360 kg). Nestes experimentos foi determinada uma densidade média de 250 kg/m<sup>3</sup> de carvão, que permite a relação de 2,5 mst de lenha/m<sup>3</sup> de carvão produzido para uma fornada (rendimento) de 2,9 m<sup>3</sup> de carvão.

Ao se tomar este valor médio de 2,9 m<sup>3</sup> de carvão/fornada, mais a média de 49:52 horas de carvoejamento, chega-se a um rendimento de 0,35 t. Porém estes valores confrontados aos de um forno de alvenaria com 5 m de diâmetro, ciclo de operação-carvoejamento de 240 horas e rendimento médio de 17 m<sup>3</sup> de carvão/fornada, que tem como resultado um rendimento diário de 0,42 t, revelam que a produção de carvão vegetal em grande escala efetuada em fornos de 12 m<sup>3</sup> de volume de carga não é competitiva.

Os valores obtidos na composição química do carvão (média), que são 6,7% de umidade, 84,5% de carbono fixo, 15,6% de materiais voláteis e 2,8% de cinzas, atribuem-lhe excelentes características para uso energético.

Já quanto à friabilidade esta variou de média (38%) a pouco friável (33%). Segundo o autor (Fontes, op. cit.) estes valores podem ser diminuídos se forem empregadas madeiras com teor de umidade menor que 30%.

Todo este conjunto de dados demonstra que as madeiras da Região Amazônica pesquisadas são capazes de produzir um carvão vegetal de qualidade, porém o rendimento demonstrado é mediano.

Outros autores também estudaram espécies amazônicas visando a fabricação de carvão vegetal. Pastore et al., (s.d.) relata que no final da década de setenta e início dos anos oitenta, foram conduzidos experimentos com espécies vegetais da Floresta Nacional do Tapajós, visando-se a obtenção de carvão vegetal para emprego na siderurgia (Tabela 3.7). Os experimentos estavam baseados na estimativa da floresta densa poder fornecer de 200 a 500 m<sup>3</sup> /ha, o que equivale de 45 a 100 tEP, ou uma energia potencial entre 150 mil e 350 mil kWh (Catinot, 1979 apud Pastore et al., s.d.).

O carvão obtido foi analisado quanto ao rendimento gravimétrico, densidade aparente, teor de carbono fixo, de material volátil e poder calorífico, características que foram em seguida relacionadas com as da matéria-prima, como densidade básica, conteúdo de extrativos e lignina.

Tabela 3.8 - Espécies estudadas na Floresta Nacional do Tapajós

| Nome Vulgar              | Nome Científico   | Família       |
|--------------------------|---|---------------|
| Amapá-amargoso           | <i>Brosimum rubescens</i> Taub  | Moraceae      |
| Amapá-doce               | <i>Brosimum rotabile</i> Ducke  | Moraceae      |
| Breu-sucuruba            | <i>Trattinnickia burseraifolia</i> (Mart.) Wild                             | Burseraceae   |
| Cajuaçu                  | <i>Anacardium spruceanum</i> Benth ex Engl.                                 | Anacardiaceae |
| Castanha-de-ábara        | <i>Joannesia heveoides</i> Ducke  | Euphorbiaceae |
| Castanheira              | <i>Bertholletia excelsa</i> Hum. & Bonpl.                                   | Lecythidaceae |
| Cuiarana                 | <i>Terminalia amazonia</i> (Gmel) Exell                                     | Combretaceae  |
| Envira-preta             | <i>Onychopetalum amazonicum</i> R.E.Fries                                   | Anonaceae     |
| Faveira-folha-fina       | <i>Piptadenia suaveolens</i> Miq.   | Leguminosae   |
| Itaúba                   | <i>Mezilaurus lindaviana</i> Sw. & Mez                                      | Lauraceae     |
| Itaúba-amarela           | <i>Mezilaurus itauba</i> (Meissn.) Taubert ex Mez                           | Lauraceae     |
| Louro-vermelho           | <i>Nectandra rubra</i> (Mez) C.K. Allen (sin. <i>Ocotea rubra</i> Mez)      | Lauraceae     |
| Melancieira              | <i>Alexa gradiflora</i> Ducke   | Leguminosae   |
| Quarubá-verdadeira       | <i>Vochysia maxima</i> Ducke  | Vochysiacae   |
| Tacacazeiro              | <i>Sterculia pilosa</i> Ducke   | Sterculiaceae |
| Tachi-preto-folha-grande | <i>Tachigalia nymeocephala</i> Ducke  | Leguminosae   |
| Tatapirica               | <i>Tapirira guianenses</i> Aubl.  | Anacardiaceae |
| Tauari                   | <i>Couratari guianenses</i> Aubl. (sin. <i>Couratari guichra</i> Santh.)    | Lecythidaceae |
| Ucuba-da-terra-firme     | <i>Virola michellii</i> Heckerl (sin. <i>V. melinonii</i> (Ben) A.C. Smith) | Myristicaceae |
| Ucubarana                | <i>Iryanthera grandis</i> Ducke   | Myristicaceae |
| Eucalipto                | <i>Eucalyptus grandis</i> W. Hill ex Maiden                                 | Myristicaceae |

Modificado de Pastore et al. (s.d.)

O estudo da carbonização destas madeiras, foi efetuado numa retorta com capacidade de 1,8 litros. A quantidade de material empregada pesava 330 g, na forma de cavacos com tamanho de 6 x 2 x 2 cm. As temperaturas atingidas ficaram entre 450 a 470 °C durante três horas, a uma taxa de aquecimento de 2,4 °C/min.

Após a carbonização o carvão foi pesado para ser determinado o seu rendimento gravimétrico em relação ao peso seco da madeira enfiada. Para fins de comparação foi utilizado o material carbonizado obtido a partir de cavacos de *Eucalyptus grandis* de sete anos de idade.

Em síntese, os resultados demonstraram que havia uma faixa de variação de densidade de 0,21 g/cm<sup>3</sup> a 0,59 g/cm<sup>3</sup>. Os teores de carbono fixo estavam entre 77,58% e 86,14%. O material volátil presente ia de 12,89% a 20,22%. As cinzas de 0,36% a 3,80%. E o poder calorífico superior de 7219,45 cal/g a 8284,42 cal/g. O rendimento gravimétrico ficou entre 27% e 37%, contrastando com o do eucalipto, em torno de 30% (Tabelas 3.9 e 3.10).

Tabela 3.9 - Rendimento gravimétrico, carbono fixo e materiais voláteis segundo a espécie

| Espécie               | Rendimento Gravimétrico<br>(base seca %) | Carbono Fixo<br>(base seca %) | Material Volátil<br>(base seca %) |
|-----------------------|--|-------------------------------|-----------------------------------|
| Amapá-amargoso        | 32                                       | 79.23                         | 19.03                             |
| Amapá-doce            | 27                                       | 82.88                         | 15.62                             |
| Breu-sucuruba         | 28                                       | 81.57                         | 15.95                             |
| Cajuaçu               | 27                                       | 80.15                         | 18.20                             |
| Castanha-de-arara     | 28                                       | 77.58                         | 18.62                             |
| Castanheiro-do-Pará   | 32                                       | 81.76                         | 17.88                             |
| Cujarana              | 37                                       | 77.89                         | 20.09                             |
| Envira-preta          | 30                                       | 79.77                         | 18.98                             |
| Faveira-folha-fina    | 32                                       | 79.60                         | 18.99                             |
| Itaúba                | 33                                       | 82.72                         | 16.24                             |
| Itaúba-amarela        | 33                                       | 82.81                         | 15.74                             |
| Louro-vermelho        | 30                                       | 81.86                         | 17.44                             |
| Melançeira            | 30                                       | 80.27                         | 18.05                             |
| Quaruba-verdadeira    | 30                                       | 86.14                         | 12.89                             |
| Tacacazeiro           | 30                                       | 77.40                         | 20.22                             |
| Tachi-preto           | 30                                       | 81.18                         | 18.14                             |
| Tatapirica            | 28                                       | 79.82                         | 18.35                             |
| Tauari                | 30                                       | 79.85                         | 18.03                             |
| Ucuuba-da-terra-firme | 27                                       | 80.76                         | 17.01                             |
| Ucuubarana            | 35                                       | 79.71                         | 19.34                             |
| Eucalipto             | 30                                       | 80.34                         | 19.08                             |

Fonte: Pastore et al., (s.d.)

Tabela 3.10 - Cinzas, densidade e poder calorífico segundo a espécie vegetal

| Espécie               | Cinzas<br>(base seca %) | Densidade<br>(g/cm <sup>3</sup> ) | Poder Calorífico<br>(cal/g) |
|-----------------------|-------------------------|-----------------------------------|-----------------------------|
| Amapá-amargoso        | 1.74                    | 0.58                              | 7878.83                     |
| Amapá-doce            | 1.50                    | 0.41                              | 7876.66                     |
| Breu-sucurumba        | 2.48                    | 0.21                              | 7578.03                     |
| Cajuaçu               | 1.65                    | 0.24                              | 7682.78                     |
| Castanha-do-arara     | 3.80                    | 0.25                              | 7275.06                     |
| Castanheiro-do-Pará   | 0.36                    | 0.45                              | 8056.59                     |
| Cuiarana              | 2.02                    | 0.61                              | 7745.43                     |
| Envira-preta          | 1.25                    | 0.59                              | 7682.52                     |
| Faveira-folha-fina    | 1.41                    | 0.45                              | 7878.83                     |
| Itaúba                | 1.04                    | 0.40                              | 7962.99                     |
| Itaúba-amarela        | 1.45                    | 0.44                              | 8102.06                     |
| Louro-vermelho        | 0.70                    | 0.40                              | 8041.90                     |
| Melanciaira           | 1.68                    | 0.40                              | 8089.70                     |
| Quaruba-verdadeira    | 0.97                    | 0.40                              | 8284.42                     |
| Tacacazeiro           | 2.39                    | 0.33                              | 7219.46                     |
| Tachi-preto           | 0.68                    | 0.34                              | 7699.75                     |
| Tatapirica            | 1.83                    | 0.28                              | 7542.96                     |
| Tauari                | 2.12                    | 0.36                              | 7564.10                     |
| Ucuuba-da-terra-firme | 2.23                    | 0.34                              | 7639                        |
| Ucuubarana            | 0.95                    | 0.45                              | 7993.49                     |
| Eucalipto             | 0.58                    | 0.22                              | 7732.93                     |

Fonte: Pastore et al.,(s.d.)

A ucuubarana e a cuiarana (destaque) apresentaram os valores mais altos de rendimento gravimétrico de 35% a 37%. A quaruba-verdadeira (destaque) o valor mais alto de carbono fixo 86,14%.

A nível de conclusão pode-se dizer que as madeiras estudadas forneceram um carvão de boa qualidade, com baixos teores de cinzas e voláteis e teores elevados de carbono fixo. Se estas características forem respeitadas é perfeitamente possível o aproveitamento industrial do carvão vegetal.

Também se comprovou que as madeiras de densidade básica mais elevada proporcionam um melhor rendimento gravimétrico, sendo o carvão gerado de maior densidade aparente.

Moreira et al., (1993) estimaram o potencial das florestas nativas brasileiras quanto a produtividade, rendimento em tEP mais o potencial total e o acessível, que seria cerca de 20% do potencial total. Os dados obtidos estão dispostos na Tabela 3.11:

Tabela 3.11 - Potencial total e acessível das florestas nativas brasileiras (Mt e MfEP)

| Floresta        |     |     | Produtividade |        | Rendimento | Potencial Total |      | Potencial Acessível |      |
|-----------------|-----|-----|---------------|--------|------------|-----------------|------|---------------------|------|
| Tipo            | Mha | (%) | t/ha          | tEP/ha | tEP/t      | Mt              | MfEP | Mt                  | MfEP |
| Trop úmida      | 450 | 80  | 8             | 2.3    | 0.36       | 3600            | 1305 | 720                 | 261  |
| Trop seca       | 50  | 3   | 1.5           | 0.5    | 0.33       | 75              | 25   | 15                  | 5    |
| Temperada       | 23  | 4   | 3             | 1.1    | 0.37       | 69              | 25   | 14                  | 5    |
| Savana - estepe | 40  | 7   | 1             | 0.4    | 0.40       | 40              | 16   | 8                   | 3    |
| Total           | 563 | 100 |               |        |            | 3784            | 1371 | 757                 | 274  |

Fonte: Moreira et al., (1993)

Além das características do carvão segundo a espécie vegetal, discutidas acima, também podem ser determinadas as características de produtividade (segundo t/ha, m<sup>3</sup> st/ha e t/m<sup>3</sup>) e segundo a formação vegetal (Tabelas 3.12 e 3.13 e Gráficos 3.1 e .32).

Tabela 3.12 - Produtividade característica, segundo a formação vegetal

| Formação Vegetal | Lenha (t/ha) | Lenha (m <sup>3</sup> st/ha) | Densidade Aparente (t/m <sup>3</sup> ) |
|------------------|--------------|------------------------------|--|
| Floresta Densa   | 208          | 400                          | 0.52                                   |
| Floresta Aberta  | 119          | 229                          | 0.52                                   |
| Cerradão         | 82           | 210                          | 0.39                                   |
| Cerrado          | 29           | 74                           | 0.39                                   |
| Eucalipto        | 86           | 175                          | 0.49                                   |

Fonte: CODEBAR/SUDAM/PGC (1986) e Borges et al., (1990) apud Medeiros (1993)

Tabela 3.13 - Rendimento em carvão vegetal, segundo a formação florestal

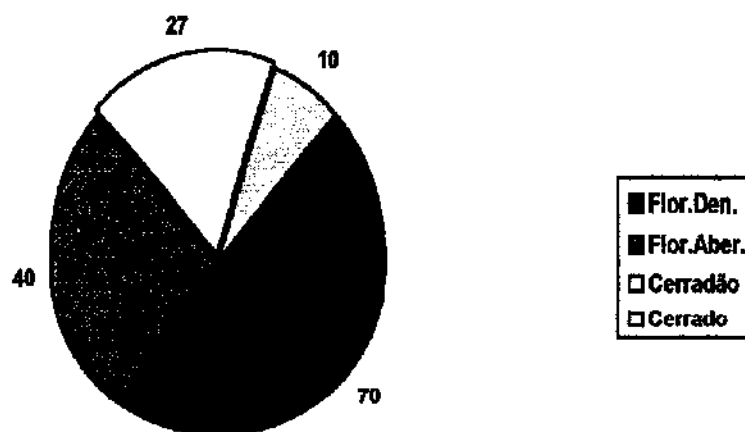
| Formação Vegetal | Part. Prod. Nac. C. Vegetal (10 <sup>3</sup> t) | Produtividade em C. Vegetal 10 <sup>3</sup> t (t/ha) |
|------------------|---|--|
| Floresta Densa   | 291   | 70   |
| Floresta Aberta  | 582   | 40   |
| Cerradão         | 1164  | 27   |
| Cerrado          | 3783  | 10   |
| Total            | 5820  |  |

Fonte: Medeiros (1993)

O Gráfico 3.1. traz o rendimento em carvão vegetal (10<sup>3</sup> t/ha em valores percentuais) para quatro formações florestais, que são o cerradão, o cerrado, a floresta aberta e a floresta densa. Já o Gráfico 3.2. traz a participação de cada formação florestal na produção nacional de carvão vegetal para o ano de 1993 (10<sup>3</sup> t/ha).

GRÁFICO 3.1

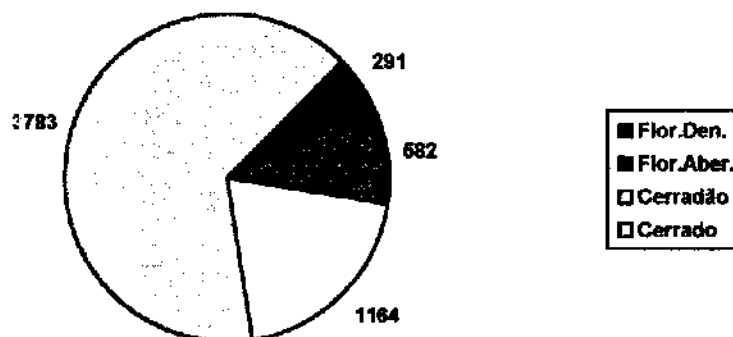
PRODUTIVIDADE EM CARVÃO VEGETAL, SEGUNDO A FORMAÇÃO FLORESTAL ( $10^3$  t/ha) - 1992



Fonte: Medeiros (1993)

GRÁFICO 3.2

PARTICIPAÇÃO DAS FORMAÇÕES VEGETAIS NA PRODUÇÃO NACIONAL DE CARVÃO VEGETAL ( $10^3$  t) - 1992



Fonte: Medeiros (1993)



### 3.2.2.1. RESÍDUOS APÓS A CARBONIZAÇÃO

Após a carbonização normalmente aparece um material indesejado, o tiço. Este surge provavelmente entre as etapas II e IV (item 3.1.2).

A madeira por possuir baixa condutividade térmica e devido a zona de carvão atuar como isolante torna a transferência de calor difícil. Este material surge então da exposição insuficiente ao calor, ou seja, resulta da carbonização incompleta da madeira.

Deve-se atentar ao fato de ser necessária a presença de uma zona de carvão já formada que irá transferir calor, independente do calor recebido na superfície da peça de madeira que está sendo carvoejada.

Provavelmente este fenômeno contribui para o baixo rendimento térmico e gravimétrico do processo de carbonização em fornos de alvenaria.

As experiências conduzidas por Schaffer apud Oliveira et al. (op. cit.), demonstraram que tão logo se forma uma camada externa de carvão com 1/4" de espessura (0,635 mm), a velocidade de formação do carvão será constante e igual a 38 mm/h.

Ainda nos mesmos experimentos se verificou que uma peça de eucalipto de 15 cm de diâmetro, com calor fornecido em toda a superfície da peça, estará integralmente carbonizada em duas horas, a depender do tempo de formação da camada externa de carvão.

A progressão dessa camada externa de carvão pode ser melhor apreciada no bloco diagrama idealizado por Holmes citado em Oliveira (op. cit.) (Figura 3.2).

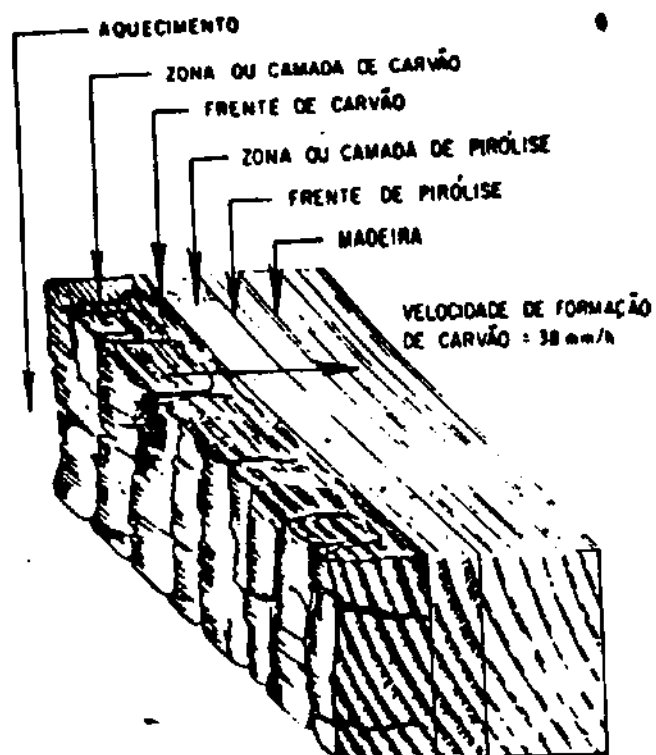


Figura 3.2 - Bloco diagrama mostrando o avanço da carbonização proposto por

Holmes (apud Oliveira op. cit.,)



### 3.2.21.2. O COMPORTAMENTO DOS COMPONENTES DA MADEIRA

O comportamento térmico da madeira<sup>2</sup> no processo de carbonização reflete a soma das respostas térmicas dos seus três componentes: celulose, hemicelulose e lignina, presentes em proporção de 50:20:30, respectivamente. A hemicelulose, começa a perder peso na temperatura próxima de 225° C e na temperatura de 325° C já está completamente degradada. A celulose sofre um processo de degradação em curto intervalo de temperatura, de 325° C a 375° C, mostrando mudanças bruscas no seu comportamento. Já a lignina começa a se degradar em temperaturas mais baixas, a partir de 150° C, tendo uma degradação mais lenta em relação a celulose e a hemicelulose, e continua a perder peso mesmo em temperaturas acima de 500° C, tendo como resultando o resíduo carbonífero, i.e., o carvão vegetal (**Figura 3.3**).

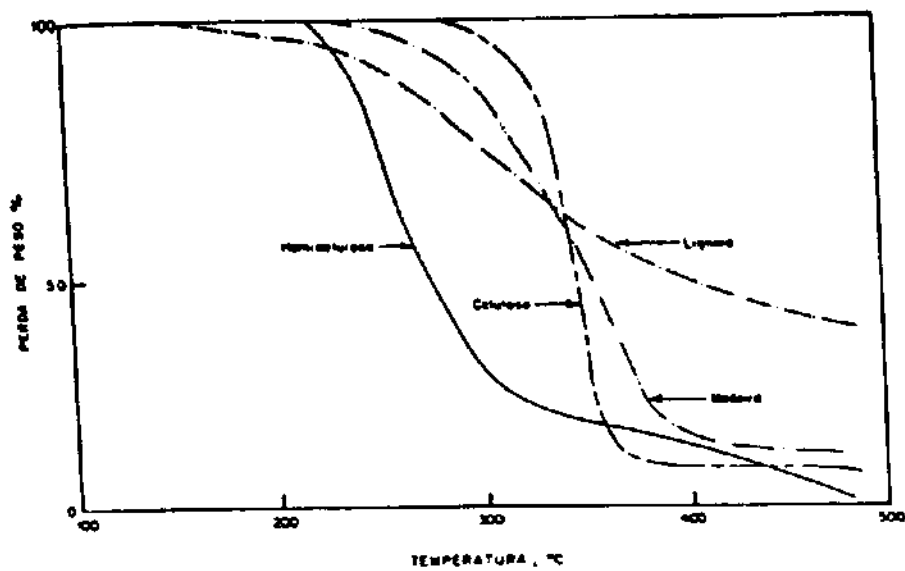
O composto mais importante da madeira, quando se visa produzir carvão vegetal, é a lignina existindo uma relação diretamente proporcional entre o teor de lignina e o rendimento em carvão.

A quantidade de lignina e hemicelulose varia entre as madeiras folhosas e as coníferas, sendo que fatores como idade e espécie podem influenciar na composição química. Além destes componentes, a madeira contém ainda várias substâncias de baixo peso molecular - os extrativos - cujos principais componentes orgânicos são os ácidos graxos, os óleos voláteis, os terpenos e os compostos aromáticos<sup>3</sup>.

---

<sup>2</sup> A madeira vai perdendo peso gradativamente, por meio de um aquecimento contínuo e controlado, denominado de termogravimetria.

<sup>3</sup> Já foram identificados mais de 213 compostos durante a destilação seca da madeira.



**Figura 3.3 - Comportamento dos componentes da madeira segundo a perda de peso(%) e a temperatura (°C)**

### 3.2.3. PROPRIEDADES E CARACTERÍSTICAS DO CARVÃO VEGETAL

Segundo Fontes (op.cit) as propriedades e características apresentadas pelo carvão vegetal, bem como as transformações físicas (diminuição da densidade relativa, abertura e coalescência de póros, fissuração, modificação no tamanho e na distribuição dos póros) e químicas, são quase que inteiramente dependentes das características da madeira original e do método de carbonização empregado. Este conjunto de processos e transformações terá reflexo na qualidade do produto obtido.

Para o carvão vegetal as propriedades e características mais importantes são:

- a composição química, poder calorífico e densidade;
- resistência mecânica e friabilidade.

**D) composição química:** compreende umidade, carbono fixo, matérias voláteis e cinzas. O carbono fixo e as matérias voláteis são regulados pela temperatura. A uma elevação de temperatura corresponde uma elevação do teor de carbono e uma conseqüente diminuição dos teores de oxigênio e hidrogênio. O aumento de temperatura reduz drasticamente o rendimento em carvão (Tabela 3.14 e Gráfico 3.3).

Tabela 3.14 - Composição elementar (C,H e O) do carvão vegetal e rendimento segundo diversas temperaturas de carbonização

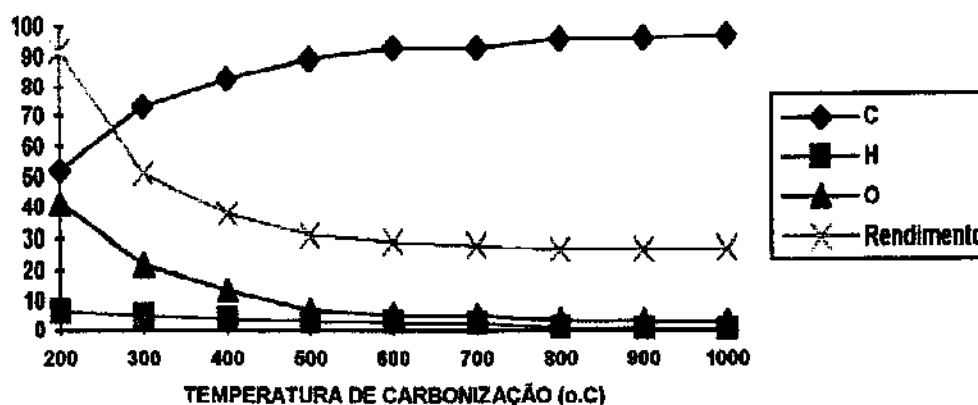
| Temperatura de Carbonização (°C) | C (%) | H (%) | O (%) | Rendimento * (%) |
|----------------------------------|-------|-------|-------|------------------|
| 200                              | 52.3  | 6.3   | 41.4  | 91.8             |
| 300                              | 73.2  | 4.9   | 21.9  | 51.4             |
| 400                              | 82.7  | 3.8   | 13.5  | 37.8             |
| 500                              | 89.2  | 3.1   | 6.7   | 31               |
| 600                              | 92.8  | 2.6   | 5.2   | 29.1             |
| 700                              | 92.8  | 2.4   | 4.8   | 27.8             |
| 800                              | 95.7  | 1     | 3.3   | 26.7             |
| 900                              | 96.1  | 0.7   | 3.2   | 26.6             |
| 1000                             | 96.6  | 0.5   | 2.9   | 26.8             |

Fonte: Bergstrom & Wesslen (1978) apud Fontes (s.d.)

\* (peso carvão/peso madeira seca)

GRÁFICO 3.3

COMPOSIÇÃO ELEMENTAR DO CARVÃO VEGETAL E RENDIMENTO  
SEGUNDO VÁRIAS TEMPERATURAS DE CARBONIZAÇÃO



Fonte: Bergstrom & Wesslen (1978) apud Fontes (s.d.)

O carvão apresenta em sua composição hidrogênio, hidrocarbonetos, CO, e CO<sub>2</sub> que constituem material volátil residual. Nas medições do teor deste material parte do carbono está presente junto com gases, além de integrar as moléculas de hidrocarbonetos, CO e CO<sub>2</sub>. A outra parte de carbono restante (“fixa”), que forma massa amorfa é chamada de carbono fixo<sup>4</sup>.

Também se observa no carvão uma certa higroscopicidade, sendo que sua umidade é função da temperatura final de carbonização e da umidade do ambiente em que se encontra. A umidade é a perda de peso (percentual) experimentada pelo carvão, quando submetido a um aquecimento em estufa. A cinza é o resíduo de óxidos minerais obtido pela combustão completa do carvão.

**II) densidade:** a densidade medida no carvão - que deve ser a maior possível - varia segundo a técnica de medição empregada, que por sua vez leva em consideração a

<sup>4</sup> Essa denominação distingue o carbono presente na forma de substância amorfa e gases, das outras formas presentes nos diversos compostos. O teor de carbono fixo é calculado ao se subtrair os teores de materiais voláteis e cinzas

porosidade presente no carvão, que é de 70% a 80%. Segundo a técnica a densidade do carvão pode ser a densidade de granel ou a densidade relativa aparente:

**II.a) densidade de granel:** corresponde a relação peso obtido/volume ( $m^3$ ), e é expressa em  $kg/m^3$ . Para o carvão vegetal este valor está em torno de  $250 kg/m^3$ . Aqui o fator mais importante é a granulometria, ou seja, o peso de um determinado volume de carvão varia segundo a sua granulometria.

**II.b) densidade relativa aparente:** corresponde a subtração do volume dos vazios (entre os vários pedaços de carvão) do valor correspondente a densidade de granel. Na realidade consiste em medir o volume dos vários pedaços de carvão, considerando os poros internos como ocupados pelo material de carvão.

Os parâmetros que atuam na densidade do carvão são a temperatura de carbonização, a densidade da madeira que lhe deu origem e a granulometria do carvão. A densidade relativa do carvão será maior, quando a densidade da madeira que lhe deu origem também for maior.

**III) resistência mecânica-friabilidade:** entende-se por friabilidade de um material como a propriedade que este tem de ser transformado em pó. No caso de carvão vegetal corresponde a capacidade de soltar finos, quando sujeito a abrasão e queda. Do manuseio passando pela produção até a entrada no alto-forno, são gerados cerca de 25% (em peso) de finos abaixo de 10 mm.

A friabilidade do carvão está ligada à umidade presente na madeira, a temperatura de carbonização, a velocidade ou taxa de aquecimento e o diâmetro e comprimento da madeira. Uma maior quantidade de finos tende a aparecer quando a umidade é elevada.

Quanto à relação entre temperatura de carbonização e friabilidade, os carvões produzidos em temperaturas finais maiores apresentam mais finos que aqueles de menor temperatura. Fontes (op.cit) dá o exemplo de carvões produzidos com eucaliptos de diferentes idades, em que se obtém mais finos naqueles produzidos a 700<sup>o</sup> C ou acima que nos carvões obtidos a temperaturas em torno de 500<sup>o</sup> C.

Já a velocidade ou taxa de aquecimento sofrida pelo carvão, quando é rápida (por exemplo 3,4<sup>o</sup> C/min) favorece o aparecimento de finos mais do que quando é lenta (por exemplo 0,1<sup>o</sup> C/min). Acredita-se então, que o carvão produzido em retorta deva ter resistência mecânica menor que o produzido em fornos de alvenaria.

Também o diâmetro da madeira tem influência na formação de trincas durante a carbonização. As trincas e fissuras internas do carvão, constituem-se em zonas de concentração de tensão que podem ser atribuídas à grande impermeabilidade do cerne das peças de madeira. Quando uma peça de madeira é carbonizada, o alburno seca rapidamente e a umidade do cerne é retirada com dificuldade devido a sua menor permeabilidade. Nessas condições a pressão do vapor dos gases aumenta no interior das fibras, podendo ocorrer ruptura das células fibrosas com o desenvolvimento de trincas, sendo comum encontrar em peças carbonizadas, áreas representativas do cerne fissuradas enquanto as de alburno não estão.

**IV) poder calorífico:** o poder calorífico de um combustível representa o número de calorias liberadas na combustão completa de uma unidade de massa do combustível, expressa em kcal/kg para combustíveis sólidos e líquidos. Durante a carbonização quando a temperatura passa de 300<sup>o</sup> C para 500<sup>o</sup> C, há uma diminuição abrupta no teor de oxigênio do carvão, o que lhe confere a singularidade de o carvão



produzido a 500<sup>o</sup> C ter poder calorífico maior que aquele na faixa de 300<sup>o</sup> C a 700<sup>o</sup> C. Porém o carvão produzido a 700<sup>o</sup> C, possui poder calorífico maior que o de 300<sup>o</sup> C.

### **3.2.3.1. OS COMPOSTOS PERDIDOS NA TRANSFORMAÇÃO DE LENHA EM CARVÃO VEGETAL**

O processo de carbonização que transforma a madeira em carvão vegetal, provoca durante o seu ocorrer o despreendimento de diversos compostos, alguns de valor para a indústria química e farmacêutica. A recuperação destes compostos visando o seu aproveitamento industrial poderia se constituir em fonte de renda adicional para os pequenos produtores de carvão vegetal. Estes por sua vez poderiam atuar na forma de cooperativas a fim de minimizar os custos de implantação dos recuperadores ou talvez captando recursos junto aos próprios compradores futuros destes compostos.

Dos compostos que interessam à indústria, o alcatrão é o que se apresenta como o mais importante, pois este pode funcionar como um substituto do óleo combustível.

A elencagem do alcatrão como o composto mais importante está relacionada ao protocolo de intenções assinado por diversas empresas do setor siderúrgico, o IBS e o Governo Federal, a respeito de reduções no consumo de óleo combustível pela indústria devido à crise do petróleo de 1979. No final dos anos setenta e início da década de oitenta diversas empresas empreenderam pesquisas visando encontrar substitutos ao óleo combustível. Descobriu-se então que o alcatrão funcionava como um bom substituto, passando-se logo a pesquisar métodos de recuperá-lo durante a carbonização da madeira.

As três empresas que mais lograram êxito na pesquisa e operação de recuperação de alcatrão foram a Acesita (Florestal Acesita), A Mannesmann Agro Florestal e a Cia. Agrícola e Florestal Sta. Bárbara, esta última fornecia carvão vegetal à Cia. Siderúrgica Belgo Mineira.

Foge do escopo deste trabalho abordar o impacto do alcatrão como substituto do óleo combustível, bem como o estudo da viabilidade econômica deste. A abordagem ficará restrita às formas de recuperação conhecidas com a descrição dos meios de procedê-las. Os outros compostos não possuem tecnologias que já tenham ultrapassado a fase de testes, ou se possuem não são conhecidas até o presente.

Os principais compostos perdidos na carbonização são: o alcatrão, o metanol, o ácido acético e os gases combustíveis. Estima-se que na produção de 1 milhão de toneladas de ferro-gusa, que utiliza como insumo carvão vegetal, em média  $3,78 \text{ m}^3 / \text{t}$  produzida, sejam perdidas (Tabela 3.15):

Tabela 3.15 - Principais compostos perdidos na carbonização de madeira necessária à produção de 1 milhão t de ferro-gusa

| Compostos          | Quantidade (t) |
|--------------------|----------------|
| Gases combustíveis | 400.000        |
| Ácido acético      | 57             |
| Metanol            | 35             |
| Produtos leves     | 87             |
| Alcatrão           | 118            |

Fonte: Machado (1982)

Almeida (1982) a partir de experiências conduzidas pela Florestal Acesita define três conjuntos de componentes da madeira despreendidos durante a carbonização: o primeiro e o segundo são formados por duas fases do líquido pirolenhoso, já o terceiro é formado pelo gás não-condensável. A composição dos três conjuntos é a que segue:

**1º conjunto:** surge com o líquido pirolenhoso, que se desprende em duas fases. Na primeira fase aparece o líquido pirolenhoso, também chamado de fração aquosa do

pirolenhoso, composto de ácido acético, metanol, alcatrão insolúvel (também chamado alcatrão B) e alguns outros compostos de menor interesse.

**2º conjunto:** formado essencialmente pelo alcatrão insolúvel, que é a segunda fase do líquido pirolenhoso. Também é chamado de alcatrão A sendo mais denso e viscoso que o B, e como tal se separando deste por gravidade.

**3º conjunto:** este é formado basicamente por gás não-condensável, cuja composição reflete a do meio de carbonização. Normalmente é composto de hidrocarbonetos, CO<sub>2</sub>, CO, N<sub>2</sub> e H<sub>2</sub>.

Segundo o autor a proporção e presença de cada um dos componentes destes três conjuntos é função da velocidade de carbonização, do tempo de permanência dos produtos despreendidos na zona de reação e também do teor de oxigênio presente no ambiente de carbonização.

A Florestal Acesita visando determinar os produtos que se desprendiam da madeira, utilizou *Eucalyptus grandis* em seus experimentos, em processos de carbonização à 500 °C e pressão atmosférica ambiente. Os resultados obtidos estão sintetizados na Tabela 3.16.

Tabela 3.16 - Compostos despreendidos do *E. grandis* via carbonização a 500 °C

| Produtos                                  | (%) Peso da Madeira Seca | (%) Peso da Madeira Seca |
|---|--------------------------|--------------------------|
| Carvão (86% carbono fixo)                 | 33                       |                          |
| Ácido Pirolenhoso (fração aquosa)*        | 35,5                     |                          |
| Ácido Acético*                            |                          | 5*                       |
| Metanol*                                  |                          | 2*                       |
| Alcatrão Solúvel (B)*                     |                          | 5*                       |
| H <sub>2</sub> O e Constituintes Menores* |                          | 23,5*                    |
| Alcatrão Insolúvel (A)*                   | 6,5                      |                          |
| Gás Não-Condensável*                      | 25                       |                          |
| Total                                     | 100                      | 35,5*                    |

Fonte: CETEC (s.d.) apud Almeida (1982)

\* constituintes do ácido pirolenhoso

Porém essa constituição não reflete a composição do alcatrão obtido em fornos de alvenaria que é a seguinte (Tabela 3.17):

Tabela 3.17 - Composição do alcatrão coletado em fornos de alvenaria

| Composição          | Teor (%) |
|---------------------|----------|
| Carbono             | 59.88    |
| Hidrogênio          | 7.15     |
| Enxofre             | 0.02     |
| Umidade             | 13.85    |
| Outros (N, O, etc.) | 19.10    |
| Total               | 100      |

Fonte: Almeida (1982)

Para a recuperação do alcatrão em fornos de alvenaria, a Florestal Acesita empregou experimentalmente um sistema conjugado de lavagem, cicloneamento, borbulhamento, recirculação de líquidos e trocadores de calor. A partir dos resultados obtidos foi desenvolvido um sistema capaz de operar em fornos de 5 m de diâmetro (capacidade de 580 kg de lenha), tendo uma única chaminé para exaustão. Após o consumo de 35 toneladas de madeira, os resultados médios obtidos foram os seguintes (Tabela 3.18):

Tabela 3.18 - Rendimento em alcatrão dos fornos de alvenaria - Acesita

|   |        |
|---|--------|
| Quantidade de Madeira por Forno                         | 580 kg |
| (%) Peso em Relação à Madeira Seca Enfornada            | 4%     |
| Quantidade de Alcatrão por Tonelada de Carvão Produzido | 120kg  |

Fonte: Almeida(1982)

Segundo Almeida (op.cit.) o valor de 120 kg deve ser considerado como médio, pois em fornos experimentais acoplados à câmara de combustão já se obteve 740 kg de alcatrão por fornada.

No final de 1982 a Florestal Acesita implantou uma bateria de quarenta fornos de alvenaria, que possuía vinte equipamentos para recuperação de alcatrão, com capacidade para 60 t de alcatrão/mês.

Siqueira & Scharlé (1982) relatam a experiência da Mannesmann em relação à recuperação de alcatrão em fornos de alvenaria. As pesquisas se iniciaram pela

identificação da forma como o alcatrão se desprendia durante a carbonização. Primeiramente se acreditava que o alcatrão estava presente nos voláteis como vapor. Em virtude disso desenvolveram-se mecanismos de recuperação tipo trocadores de calor de contato direto ou indireto. Todavia, descobriu-se depois que o alcatrão se apresentava na forma de partículas. Sendo assim foram desenvolvidos equipamentos para operar em conjunto com os trocadores de calor, estes eram aparelhos de impacto, torres de absorção ou pulverização, ciclones exaustores e filtros. Esses equipamentos se baseavam no reconhecimento de que três princípios físico-químicos eram determinantes na recuperação de alcatrão: a condensação, a coalescência e a separação líquido-gás.

**condensação:** os voláteis que se despreendem durante a carbonização são capazes de se condensar parcialmente. Verificou-se então que a instalação de torres de lavagem que trocassem calor com os voláteis por contato direto, permitiria a transferência parcial da energia térmica dos voláteis para o líquido pulverizado e ocorreria a condensação. Este processo permite que a massa e o diâmetro das partículas de alcatrão aumentem um pouco, o que facilita operações posteriores.

**coalescência:** também permite o aumento de massa e diâmetro das partículas de alcatrão. Tal é conseguido ao se aumentar a velocidade de saída do fluxo de alcatrão, a tal ponto de fazê-lo chocar-se com os anteparos do recuperador o que irá diminuir sua velocidade até próximo de zero m/s. Neste instante as partículas de alcatrão diminuem de número e coalescem aumentando de diâmetro e de massa.

**separação de partículas líquido-gás:** esta separação ocorre por meio de força centrífuga, que é originária da ação de ciclones que são dimensionados segundo o regime de fluxo e o diâmetro das partículas de alcatrão. Faz parte desse método de separação a colocação de um exaustor após os ciclones, que funciona como um

aglomerador de partículas. Atrás do exaustor existe um filtro que tem por objetivo capturar as partículas que escaparam do ciclone.

Outra forma de realizar essa separação é carregar eletricamente as partículas de alcatrão e fazê-las passar por placas com carga elétrica opostas às das partículas.

De forma semelhante à Acesita a equipe experimental da Mannesmann realizou seus experimentos com *Eucalyptus grandis*, em fornos com volume de 18,5 m<sup>3</sup>, de altura máxima de 2,3 m e diâmetro de 3,5 m, feitos de alvenaria em formato tipo camisa cilíndrica.

Os processos de recuperação como os respectivos rendimentos foram os seguintes:

**processo de recuperação por absorção mecânica:** os testes com esse processo foram em número de dezenove. Os rendimentos de alcatrão por 1 t de madeira processada variaram de 3,23 kg até 51,32 kg de alcatrão. Já para 1 t de carvão produzido os rendimentos variaram de 12,89 kg até 189,25 kg de alcatrão(Figura 3.4).

**processo de recuperação por impacto e coalescência:** os testes com este processo totalizaram trinta e um. Os rendimentos de alcatrão por 1 t de madeira processada foram de zero até 33,59 kg. Já para 1 t de carvão produzido variaram de zero até 124,83 kg de alcatrão(Figura 3.5).

**processo de recuperação por mistura mecânica:** foram realizados vinte e um experimentos, sendo que os sete primeiros não recuperaram alcatrão. Os rendimentos de alcatrão por 1 t de madeira processada (a partir do oitavo experimento) foram de 2,51 kg até 18,51 kg. Para 1 t de carvão produzido os rendimentos variaram de 9,40 kg até 60,29 kg de alcatrão (Figura 3.6).

processo de recuperação por precipitação eletrostática; este processo foi testado apenas durante cinco experimentos, sendo que somente o último mostrou recuperação de alcatrão. O rendimento de alcatrão para 1 t de madeira processada foi de 2,69 kg e por 1 t de carvão produzido foi de 13,04 kg de alcatrão (Figura 3.7).

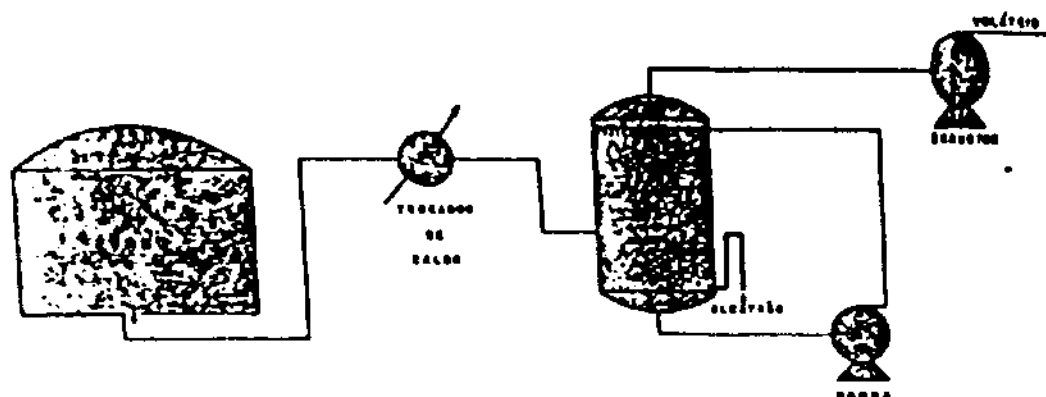


Figura 3.4 - Diagrama do processo de recuperação de alcatrão por absorção mecânica

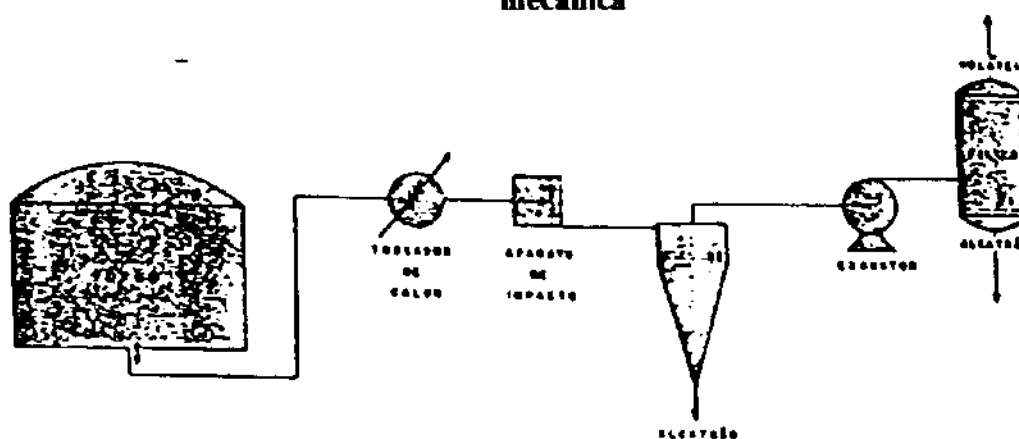


Figura 3.5 - Diagrama do processo de recuperação de alcatrão por impacto e coalescência

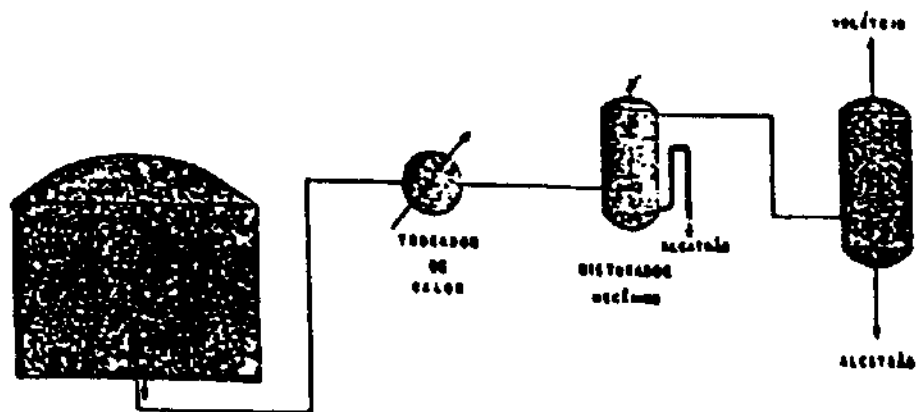


Figura 3.6 - Diagrama do processo de recuperação de alcatrão por mistura mecânica

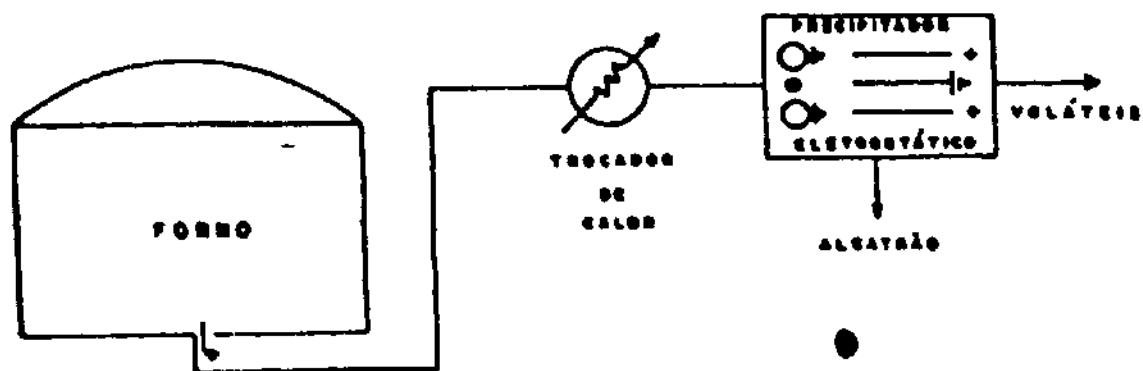


Figura 3.7 - Diagrama do processo de recuperação de alcatrão por precipitação eletrostática



Os experimentos conduzidos pela equipe da Cia. Agrícola Florestal Sta. Bárbara se iniciaram em 1979. Foram testados quatro tipos de recuperadores: a) o tipo labirinto; b) tipo estrela; c) ciclônico e d) tipo triplo ciclone.

A madeira utilizada nos experimentos era de *E. grandis*, com cinco anos de idade, densidade média básica de  $0,46 \text{ g/cm}^3$ , e umidade (base seca) de 35%. O rendimento gravimétrico do carvão estava em torno de 33% (Castro, 1982).

**a) recuperador tipo labirinto:** compunha-se de um tanque de  $8 \text{ m}^3$ , com várias divisões internas. Apresentava um exaustor que aspirava a fumaça, fazendo-a penetrar em um labirinto onde era resfriada, se condensando e sendo armazenada em tambores de decantação. O resfriamento poderia ser feito externamente com água, ou internamente com ar frio sendo insuflado ou por nebulização de água, ou ainda por água circulante entre chapas evitando-se o contato com os gases (**Figura 3.8**).

**b) recuperador tipo estrela:** testado em fornos com 5 m de diâmetro. Possuía o formato aproximado de um espremedor de laranjas, sendo colocado diretamente sobre a chaminé dos fornos. A fumaça ao sair travava contato com a parte interna do recuperador trocando calor, e em seguida se condensava caindo em uma bandeja coletora (**Figura 3.9**).

**c) recuperador tipo ciclônico:** testado para fornos com 8m de diâmetro. Possuía exaustor e uma bomba de resfriamento com ácido pirolenhoso. O exaustor aspirava a fumaça que entrava em um ciclone, lá dentro era lavada por jatos de ácido pirolenhoso (**Figura 3.10**).

**d) recuperador de triplo ciclone:** testado para fornos com 8m de diâmetro. Compunha-se por um conjunto de três ciclones e lavadores de gases e ácido

pirolenhoso. O conjunto consistia de um primeiro ciclone com lavador, seguido por dois ciclones em paralelo.

Este recuperador mostrou ser o de maior rendimento em alcatrão por tonelada de lenha seca. Apresenta as vantagens de não produzir ácido pirolenhoso e ter o menor consumo de eletricidade de todos os recuperadores testados (**Figura 3.11**).

Os diversos rendimentos segundo o tipo de recuperador são apresentados na

**Tabela 3.19:**

**Tabela 3.19 - Rendimento em alcatrão (kg/t de lenha seca) segundo o tipo de recuperador**

| Tipo           | Alcatrão | Acido Pirolenhoso | kWh/kg Alcatrão |
|----------------|----------|-------------------|-----------------|
| Labirinto      | 5        | 50                | 2.5             |
| Estrela        | 3        | 20                | 0               |
| Ciclônico      | 8        | 20                | 1.1             |
| Tripla-Ciclone | 30       | 0                 | 0.3             |

Fonte: Castro (1982)

Em 1982 a Cia. Agrícola e Florestal Sta. Bárbara começou a operar um conjunto de quarenta fornos de 8 m de diâmetro, com dez recuperadores de alcatrão, mais um tanque subterrâneo com capacidade para 18 t e dois tanques aéreos com capacidade individual de 28 t.

Neste conjunto o consumo anual de lenha é de 115 mil t, sendo a capacidade de produção de carvão vegetal de 38 mil t/ano e de alcatrão 3 mil t/ano.

Em operação os rendimentos de alcatrão por cada tonelada de lenha seca atingem 26 kg, contra 330 kg de carvão. Já o rendimento de alcatrão por tonelada de carvão atinge 80 kg.

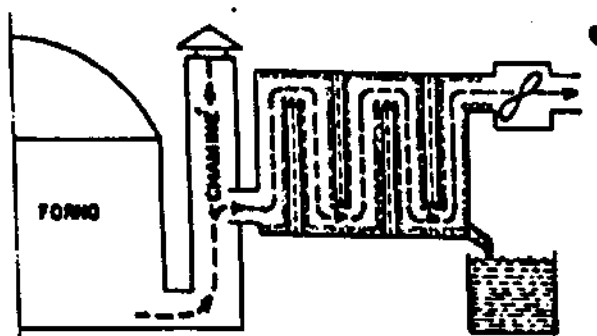


Figura 3.8 - Diagrama do recuperador de alcatrão "tipo labirinto"

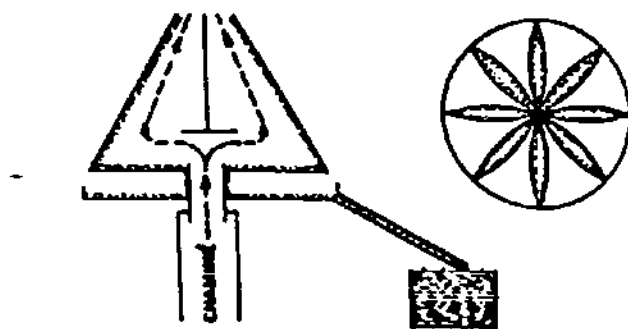


Figura 3.9 - Diagrama do recuperador de alcatrão "tipo estrela"

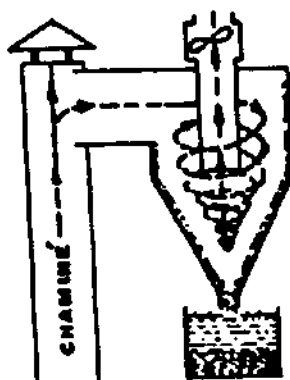


Figura 3.10 - Diagrama do recuperador de alcatrão "tipo ciclônico"

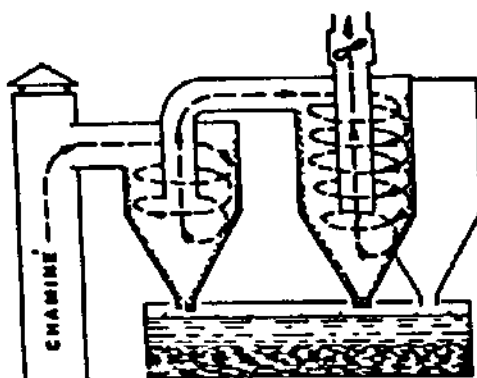


Figura 3.11 - Diagrama do recuperador de alcatrão "tipo triplo ciclone"

### 3.3. OS ALTOS-FORNOS A CARVÃO VEGETAL

Há bastante tempo que são travadas discussões a respeito do emprego do carvão vegetal em altos-fornos, incluindo as suas possíveis vantagens e desvantagens de emprego durante os processos siderúrgicos. Vários estudos foram elaborados, alguns com resultados a favor do carvão vegetal e outros contra. A verdade é que nestes estudos e por tabela em suas conclusões, havia muito da filosofia de trabalho do grupo elaborador. Se o grupo condutor dos estudos era favorável ao emprego de carvão vegetal, o resultado final ressaltava as vantagens do uso do carvão vegetal, em detrimento de suas desvantagens. Porém, é claro, também existiam estudos com um grau bastante razoável de isenção, como por exemplo o de Assis & Braga (1977).

Ao se pensar na produção siderúrgica, que tenha como insumo o carvão vegetal, as considerações passarão necessariamente pela capacidade de produção do alto-forno. Esta por sua vez, implica no aumento de seu volume, isto é, no aumento de sua seção transversal, que possui um limite físico de aumento. O aumento da seção transversal do alto-forno gera um aumento correspondente no escoamento de gases. Em se tratando do aumento da capacidade de produção do alto-forno empregando carvão vegetal, além das limitações volumétricas guardadas pela seção transversal, outras características do alto-forno devem ser levadas em consideração quando do emprego de carvão vegetal. Estas são: a) a altura útil, b) a seção transversal, b.1) fenômenos aerodinâmicos, b.2) fenômenos hidrodinâmicos.

**a) altura útil:** existem discussões a respeito de quais características do carvão vegetal são limitantes a altura útil do forno, se a pequena resistência a compressão de 40 kg/cm<sup>2</sup> ou a presença de voláteis e de umidade no carvão.

A verdade é que os voláteis desagregam o carvão quando se dá a subida de temperatura. Porém, apenas do ponto de vista químico, a presença de umidade e o teor de voláteis em nada limitam a altura do forno.

Talvez o que realmente guarde relação com a altura, seja a redutibilidade da carga. Nos altos-fornos com menor altura, operados com carvão vegetal, a velocidade de redução é baixa, e o tempo de permanência da carga é também menor que nos altos-fornos de maior altura. Ocorre então um maior consumo de combustível, bem como um maior consumo específico de carbono fixo. A fim de se prevenir isto, deve-se trabalhar com minério o mais redutível possível, a fim de se evitar as modificações térmicas decorrentes da redutibilidade.

**b) seção transversal:** em se mantendo as características físicas e químicas dos insumos no almejo de fornos de grande capacidade de produção, as limitações podem se apresentar nos aspectos referentes ao escoamento gasoso no alto-forno. Estes são os fenômenos aerodinâmicos e hidrodinâmicos.

**b.1) fenômenos aerodinâmicos:** podem ser simplificados em dois, a formação de caminhos preferenciais e a fluidização.

Ocorrem mais comumente em altos-fornos a carvão vegetal, devido a baixa densidade do reductor. O que resultando em um menor aproveitamento térmico e químico do gás, o que leva a um maior consumo de carvão.

Pode acontecer da carga localmente se colocar em movimento fluido no alto da cuba do forno. Isto pode ser proporcionado pela vazão de gás na cuba e pela maior velocidade de escoamento.

Com o aumento da produção diária, podem aumentar a velocidade crítica e o diâmetro mínimo das partículas da carga. O carvão vegetal terá então um aumento no

seu tamanho médio e maior geração de finos no peneiramento. A baixa densidade das partículas menores de carvão vegetal favorece a facilidade de fluidização. Esta por sua vez depende em essência do diâmetro das partículas (que guarda relação com a densidade), da pressão presente na goela do alto-forno e do consumo de combustível .

**b.2) fenômenos hidrodinâmicos:** em se mantendo fixas as características anteriormente citadas, outra limitação que surgirá será a que diz respeito a velocidade máxima admissível para o escoamento gasoso, que está relacionada a problemas aerodinâmicos ou por retenção e refluxo.

A coluna de carvão vegetal que fica na parte inferior da cuba, gera gases ascendentes e líquidos descendentes (gusa e escória). Se ocorrem variações elevadas entre o fluxo de líquidos e gases a pressão cairá bruscamente mas de forma localizada, pois houve uma diminuição da permeabilidade, o que irá resultar num aumento indesejado dos arriamentos, que por sua vez limitará o volume de ar circulante, diminuindo a produção.

Estes problemas podem ser evitados com o emprego de baixo volume de escória de boa fluidez para escoamento, e também se utilizando um elevado volume de gás.

### **3.3.1. FATORES LIMITANTES À PRODUÇÃO EM ALTOS FORNOS**

Pode-se sintetizar as limitações dos altos fornos de duas formas: a primeira mostra que a produção é diretamente proporcional a vazão dos gases e inversamente proporcional as necessidades térmicas.

E a segunda, se transformando a primeira forma na seguinte equação:

$$P = Q/q \quad \text{onde: } P = \text{produção do alto forno em t/dia} \quad (3.1)$$

$Q = \text{valor gerado no cadinho em kcal/dia}$   
 $q = \text{necessidades térmicas em kcal/t}$

O  $Q$  é gerado pela queima do carbono, logo é função direta do volume de ar soprado. O volume de ar soprado por sua vez é limitado pelos fenômenos de escoamento gasoso que resultam em limitações na produção. Os problemas relacionados a  $Q$  podem ser solucionados se a contra-pressão for utilizada em conjunto com carvão vegetal de boa qualidade, o que permitirá que sejam atingidas maiores produções.

Por outra lado  $q$  é função do grau de oxidação do ferro ao atingir a zona de elaboração do forno, portanto será sensível à redutibilidade da carga metálica, seu tempo de residência, e as condições físico-químicas e fluido-dinâmicas da cuba.

Como no alto forno a carvão vegetal o tempo de residência do minério na cuba e a temperatura reinante nesta são mais baixas que em relação ao coque,  $q$  torna-se então outro importante fator limitante.

Para solucionar os problemas ocorrentes na cuba ( $q$ ), Assis & Braga (op. cit.) sugeriram a utilização do sistema de carregamento tipo **Paul Wurth**, capaz de eliminar os problemas que surgem com os caminhos preferenciais, reduzindo assim as necessidades térmicas na zona de elaboração.

### 3.3.2. SUGESTÕES PARA A MELHOR OPERAÇÃO DOS ALTOS-FORNOS A CARVÃO VEGETAL

Estas são em número de sete, e se constituem em medidas já tomadas em escala industrial por algumas empresas. As sugestões seriam então: a) a utilização de contra-



pressão no topo, b) uso do sistema de carregamento Paul Wurth, c) sondas horizontais, d) preparação de matérias-primas, e) temperatura elevada de sopro, f) a injeção de finos e g) a automação dos altos-fornos.

**a) a utilização de contra-pressão no topo:** a contra-pressão permite o aumento da intensidade da marcha do alto-forno, que quando utiliza carvão vegetal tem a marcha prejudicada pelo maior número de finos deste.

A contra-pressão também permite uma melhor distribuição dos gases na cuba, além de provocar a diminuição das quedas de pressão. O resultado é o aumento da produção específica e a redução do consumo específico de carvão.

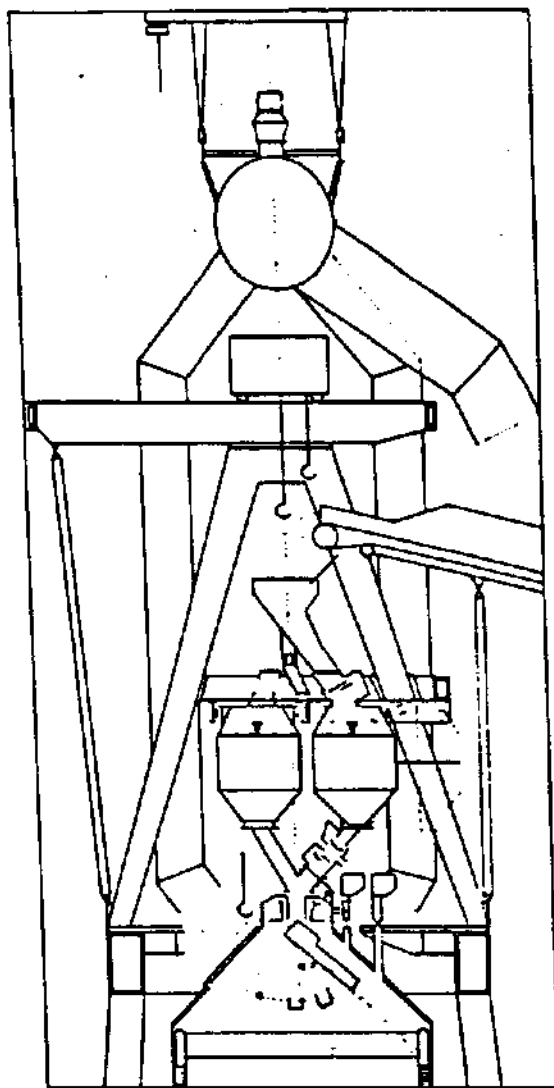
**b) uso do sistema de carregamento Paul Wurth:** como já foi dito anteriormente, é capaz de diminuir os problemas com caminhos preferenciais.

Todavia, sua utilização está ligada a presença de sondas horizontais, que permitem detectar problemas na distribuição gasosa. Este sistema não ocasiona problemas de manutenção, quando se utiliza a contra-pressão.

O seu custo de investimento também é baixo (**Figura 3.12**).

**c) sondas horizontais:** estas permitem obter a temperatura e a composição dos gases, que são indicadores das trocas térmicas e químicas.

As sondas proporcionam uma atuação mais eficiente sobre a distribuição gasosa.



**Figura 3.12 - Ilustração do sistema de carregamento Paul Wurth**

**d) preparação de matérias-primas:** a performance do forno melhora quando as faixas granulométricas e de composição química do material carregado são reduzidas. No caso do minério de ferro deve-se procurar atuar em conjunto sobre a redutibilidade e granulometria. Já quanto ao carvão vegetal, os fatores mais importantes são a granulometria e a umidade<sup>5</sup>.

**e) temperatura elevada de sopro:** a elevação de temperatura aumenta a produtividade, permite um menor consumo de carvão, e um menor volume de vento por tonelada de gusa.

**f) a injeção de finos:** se constitui numa técnica moderna de aumento da produtividade. Atualmente de 85% a 90% do gusa produzido, tem a participação da injeção de finos combustíveis. A injeção permite o aproveitamento integral do carvão, pois cerca de 60% do gusa se deve ao carvão vegetal. Também permite o aumento do tempo de residência da carga metálica o que melhora a produção.

**g) automação do alto forno:** propicia um melhor controle dos processos melhorando a performance do forno. Em essência propicia a um melhor controle da qualidade do gusa, a um melhor controle da distribuição gasosa e a um menor consumo de carvão.

Em síntese, na elevação da capacidade de produção dos altos-fornos a carvão vegetal deve-se considerar: **i) o controle rigoroso da carga metálica e do carvão vegetal, ii) controle do carregamento e distribuição da carga e iii) utilização de técnicas modernas.**

---

<sup>5</sup> A umidade afeta a resistência física do carvão, facilitando a geração de finos, além de aumentar a permeabilidade, o que irá resultar na diminuição da produção do alto-forno

### 3.4. SUGESTÕES PARA A MELHORIA DA EFICIÊNCIA NA PRODUÇÃO DE GUSA E CARVÃO VEGETAL

No item e do subcapítulo 3.1.3.2, citou-se a temperatura elevada de sopro como uma das sugestões para a melhor operação do alto forno<sup>6</sup>. Para tal deve-se enriquecer o ar soprado com oxigênio, o que irá melhorar a combustão do carbono.

Devido as atuais restrições impostas ao emprego do carvão vegetal - principalmente legais (Capítulo VII), faz-se necessário a substituição parcial deste por coque mineral. O emprego de coque provoca uma queda no poder calorífico do gás gerado, o que à reboque diminue a temperatura de sopro. A adição de oxigênio então tenta compensar a diminuição do poder calorífico.

Ao se tomar o processo de operação do alto forno com todas as suas variáveis e então arbitrar-se estas para fins de estudo como sendo constantes, verificar-se-á que a quantidade de gás que circula através do forno é proporcional à vazão de ar - o que não ocorre na prática devido ao:

- a) o fluxo de gases ascendentes impedir a descida da escória (engaiolamento).

Quanto maior o volume de escória por tonelada de gusa e maior temperatura dos gases, mais provável se torna o seu aparecimento;

- b) o excesso de poeiras e formações de chaminé e a fluidização da fração mais leve da carga;

---

<sup>6</sup> O volume de gás que atravessa o alto forno, sem perturbar a descida da carga, é um importante fator limitante de produção.

c) a diminuição das condições de redução e de trocas térmicas, gerada pela falta de homogeneidade na distribuição dos fluxos de gases, principalmente se o leito de fusão é pouco redutível.

Para aumentar o volume de ar soprado no alto forno, procede-se então, ao enriquecimento do ar em oxigênio - sem o emprego de refrigerantes, evitando a ocorrência do supracitado e resultando em:

- aumento na velocidade de descida da carga;
- aumento da velocidade de combustão do carvão vegetal na região das ventaneiras;
- aumento da temperatura da chama adiabática;
- aumento da produção adiabática de ferro-gusa.

A fim de se concretizar o processo de enriquecimento de oxigênio é necessário o emprego dos seguintes equipamentos: a) tanque criogênico para oxigênio líquido; b) CRIOX; rede de distribuição de gás; d) painel de controle de fluxo; e) aspersor para introdução do oxigênio no ar soprado.

Após a aquisição do material, procede-se inicialmente ao acompanhamento do alto forno, por um período determinado sem emprego do oxigênio. Nesta fase são coletados dados que, posteriormente, serão comparados por igual período ao emprego de oxigênio. Em seguida, passa-se ao uso do oxigênio e são preparadas tabelas com o auxílio de analisadores de gases posicionados após a introdução do oxigênio e anteriormente aos trocadores de calor.

As tabelas servem para a correlação entre as vazões de oxigênio a serem utilizadas e os respectivos valores percentuais de enriquecimento de ar soprado. A cada pressão corresponde uma vazão diferente de ar soprado e uma tabela própria.

A partir disso o oxigênio é introduzido, em percentual fixo e por um período determinado e é tabelado quantas vezes forem necessárias ao experimento.

Finda esta fase tem-se os resultados da utilização do oxigênio em diversos percentuais de enriquecimento que são comparados ao período inicial, onde não se utilizou oxigênio. Finalmente faz-se a análise técnico-econômica do processo (Faieiro & Cortêz e Silva op. cit.).

### 3.5. OS FORNOS DE CARBONIZAÇÃO MAIS COMUNS

Dentre os diversos tipos de fornos de carbonização atualmente em uso, quatro são colocados como os mais utilizados. Estes são o forno rabo quente e o de encosta, que são os mais utilizados pelos pequenos produtores, e os de superfície e o de superfície com câmara externa, os mais utilizados pelos grandes produtores.

A escolha do tipo de forno mais adequado a produção de carvão vegetal, está diretamente ligada ao tipo de empreendimento que se tem em mente, idem o seu dimensionamento e tamanho da bateria. Os fatores intrínsecos ao empreendimento dizem respeito ao volume de madeira a ser carbonizado (escala de produção e número de baterias de fornos), tempo de carbonização da madeira (qualidade do carvão, recuperação de alcatrão e escala de produção) e número de pessoas para operar as baterias de fornos (escala de produção) (CETEC, 1982).

Não se tratará aqui da construção de fornos, mas sim da análise de suas características de construção e operação e rendimento possível em carvão vegetal.

a) **forno tipo rabo quente:** trata-se do tipo mais comum de forno e de construção mais barata, exigindo para tal apenas terreno plano, boas condições de

drenagem para a água da chuva, fácil acesso para transporte de lenha e água em quantidade no caso de um possível incêndio (Figura 3.13). Normalmente as medidas desse tipo de forno são 3 m de diâmetro interno, sendo o externo 3,4 m, a altura máxima interna é 2,3 m.

A manutenção desse tipo de forno é bastante simples, bastando apenas a substituição de tijolos quebrados, que geralmente aparecem nos “tatus”, “filas” e “baianas” e na porta. Também comumente ocorrem fissuras que permitem a passagem de ar. Estas fissuras devem ser cobertas por barrela, assim que surjam.

Em essência a operação do forno consiste em carregamento da lenha, carbonização e descarga do carvão. A lenha deve estar seca, livre de umidade. Se considera que o período de três a quatro meses como o mais adequado à secagem. A lenha também deve apresentar um tamanho que permita sua arrumação no forno e que facilite o carvoejamento, para tanto não deve ter um diâmetro superior a 25 cm, e comprimento superior a 2 m. Em não se observando isto, o processo de carbonização será prejudicado em seu andamento e haverá a formação indesejável de tiços.

Deve-se evitar também que durante a arrumação da lenha no forno, restem espaços vazios entre a madeira, o que facilitaria o aparecimento de tiços em virtude da combustão ser incompleta nestes espaços vazios.

b) **forno de encosta:** este tipo de forno utiliza-se de desníveis naturais na sua construção, eliminando-se a construção de paredes (Figura 3.14). Admite-se como sugestão para construção as medidas de 4 m de diâmetro, 1,2 m de altura e altura máxima interna da copa 2,36 m, o que resulta num volume útil de aproximadamente 23 m<sup>3</sup>. A sua construção exige que o desnível de terreno não esteja sujeito a deslizamentos e que seja proporcional ao tipo de forno que se quer construir. No que concerne ao local

escolhido, deve-se dar preferência a áreas que permitam a circulação e transporte da lenha e armazenagem do carvão, bem como boas condições de drenagem para águas pluviais, além de fácil acesso à água.

As mesmas recomendações quanto a manutenção referidas ao forno tipo rabo quente, também se adequam ao forno de encosta sendo que a substituição de tijolos quebrados se dará na porta, chaminés e “tatus”. Da mesma forma o barrelamento periódico das fissuras. Porém como o forno de encosta está localizado em desnível topográfico que portanto facilita o escoamento de águas pluviais, as canaletas de escoamento de água de chuva merecem manutenção cuidadosa, a fim de evitar infiltrações para o interior do forno.

Quanto à operação também valem as recomendações feitas para os fornos tipo rabo quente, no que diz respeito a lenha e seu arranjo dentro do forno.

Nestes dois tipos de fornos o controle do processo de carvoejamento é feito por observação visual e por sondagens. Quando o forno já está aceso passa-se a observar a cor da fumaça que sai pelas “baianas”, o aparecimento do tom azulado indica que a baiana deve ser fechada, pois ali está posicionada a frente de carbonização. Da mesma forma a presença de brasa nos “tatus” indica que a frente de carbonização já atingiu este local que deve ser imediatamente fechado. O abafamento parcial das chaminés diminui a velocidade de propagação da frente de carbonização. Para o forno rabo quente sabe-se que a frente de carbonização atingiu o centro do forno, quando ao se fazer a sondagem da parte central não se constata resistência no material que queima. Em se verificando isto o forno é barrelado e é dado início ao processo de resfriamento.



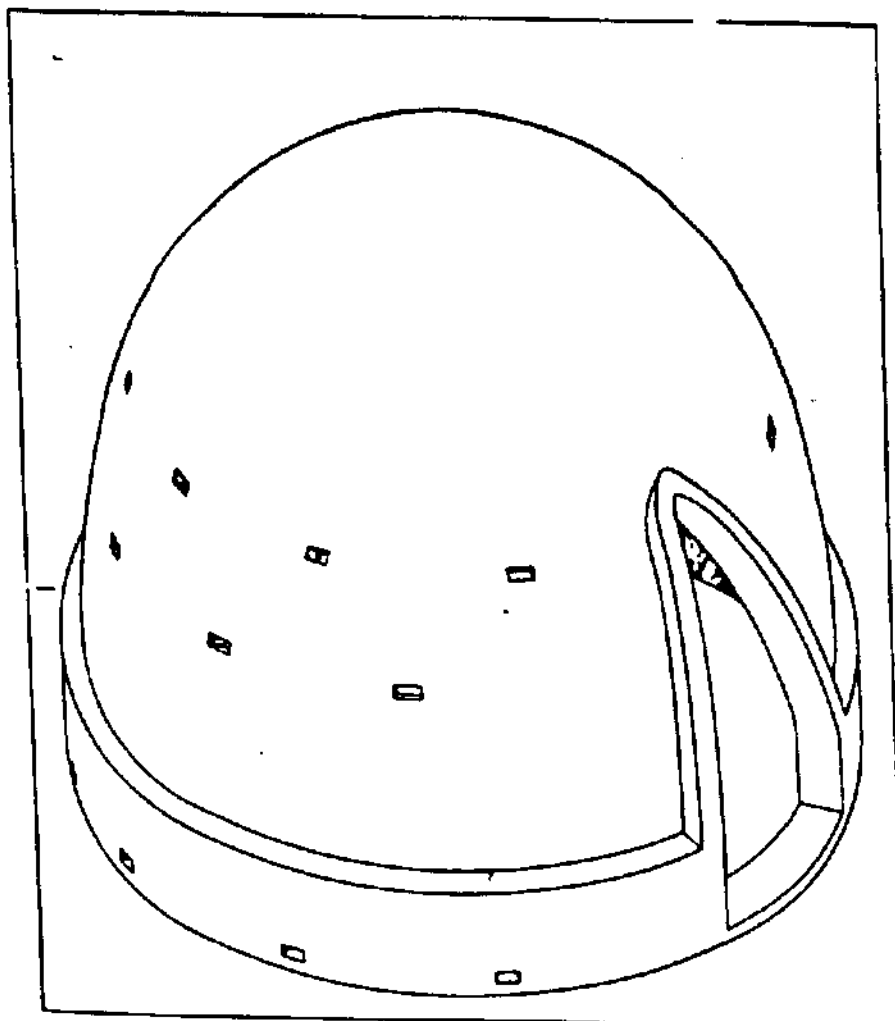
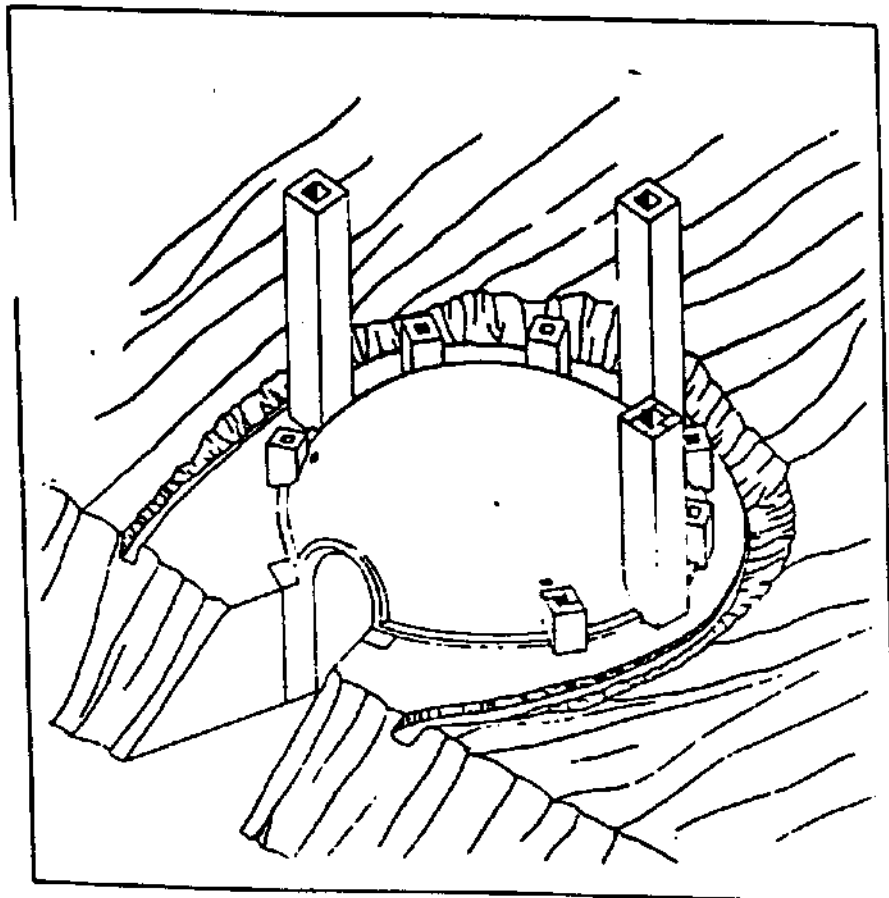


Figura 3.13 - Ilustração do forno tipo "rabo-quente"



- **Figura 3.14 - Ilustração do forno de encosta**

c) **forno de superfície:** consiste num forno de parede cilíndrica com copa em abóbada e chaminé lateral . Apresenta ainda duas portas uma para carregamento da lenha e outra para descarga do carvão.

Sugere-se que este tipo de forno possua 5 m de diâmetro, 3,1 m de altura total e 1,8 m de parede cilíndrica. A capacidade do forno seria de 36 estéreos de lenha (m<sup>3</sup>) (Figura 3.15).

Quanto a manutenção seguem-se as recomendações de barrelamento periódico e substituição dos tijolos danificados, que correrá principalmente no batente das portas, e nos “tatus”, “filas” e “baianas”. A caixa de tiragem da chaminé apresenta também um desgaste acentuado dos tijolos que devem ser periodicamente examinados. A própria caixa de tiragem após cada carbonização deve ser limpa. Da mesma forma no interior da chaminé quando houver um acúmulo grande de fuligem, esta deve ser raspada e retirada pela base da chaminé.

A operação também segue o princípio já descrito para os outros tipos de fornos, isto é, procede-se ao abafamento de “tatus” e fechamento das “baianas” quando necessário.

Contudo a operação desse tipo de forno é mais simples em virtude de possuir apenas uma chaminé, o que facilita o controle do carvoejamento por parte do operador, pois o avanço da frente de carbonização é mais homogêneo.

d) **forno de superfície com câmara externa:** apresenta copa em forma de abóbada, chaminé lateral e uma câmara de combustão externa. Os “tatus”, “filas” ou “baianas” não aparecem pois o controle da carbonização se dá através da câmara.

Ao contrário dos outros tipos de fornos o calor que transforma a lenha em carvão vegetal não provém de queima no interior do forno, mas sim da queima de lenha

na câmara de combustão. Ocorre então que o espaço interno do forno é melhor aproveitado, e inexistente a necessidade de controle da entrada de ar no forno (“tatus”, “baianas”, etc.). As dimensões sugeridas são de 5 m de diâmetro, 3,1 m de altura total e 1,8 m de altura de parede. Com estas medidas a capacidade do forno é de 36 estéreos de lenha ( $m^3$ ) (Figura 3.16).

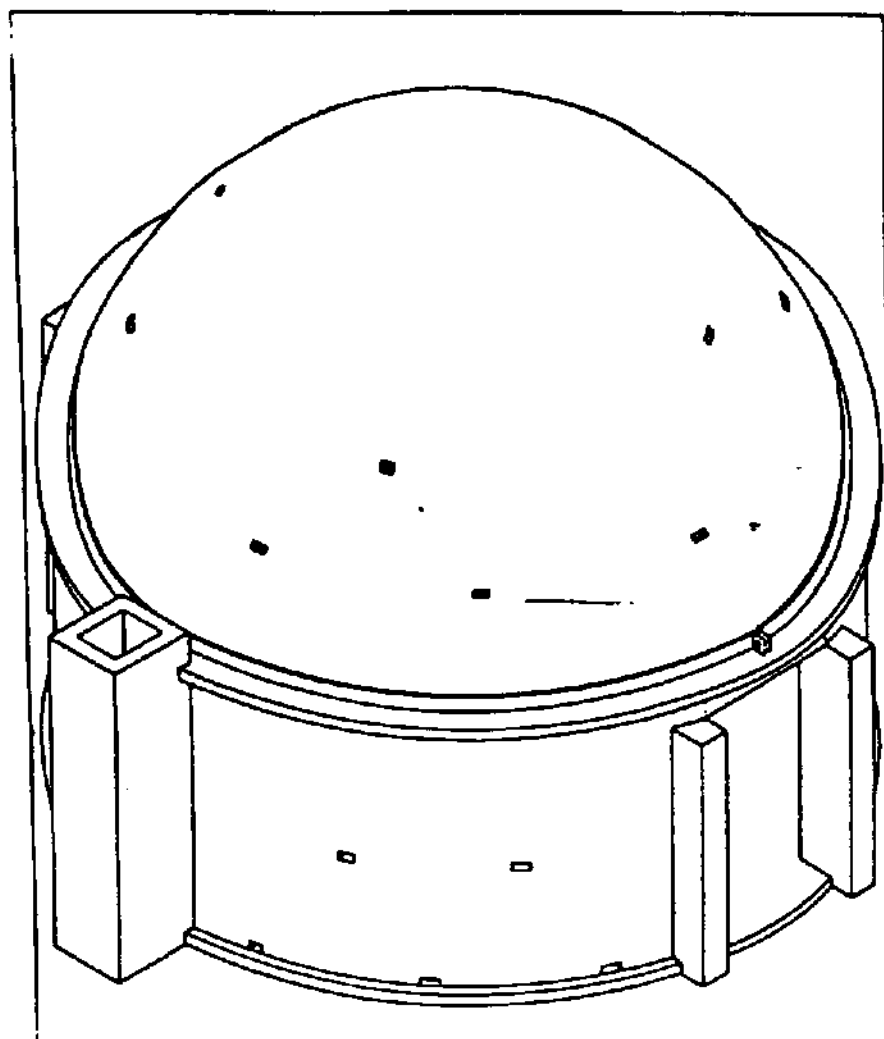
Este forno exige cuidados especiais de manutenção, pois possui uma porta de aço que está sujeita a empenamento. No caso de isso ocorrer a vedação da câmara não será total. Deve-se também proceder à limpeza periódica das cinzas que jazem sob a grelha, o que irá proporcionar boa circulação de ar.

Por apresentar uma câmara de combustão, a operação deste forno difere da operação dos outros fornos. O controle da combustão se dá pelo controle da entrada de ar, que é feito pela janela existente na parte inferior da porta<sup>7</sup>. Por meio desse controle tentar-se-á que a lenha não queime rapidamente, o que leva a baixo rendimento em carvão vegetal.

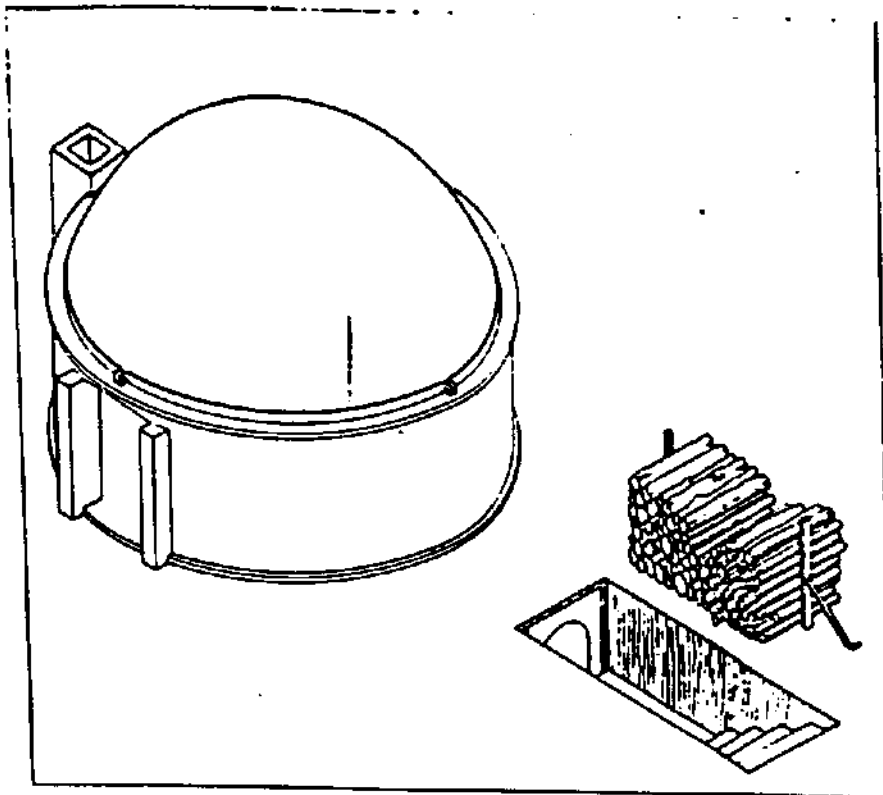
Tanto o forno de superfície quanto o de câmara externa permitem um melhor controle do processo de carvoejamento. Esse controle permite a instalação de unidades recuperadoras de alcatrão segundo o arranjo detalhado por Gomes, et al. (1982). Esse arranjo pode ser observado na Figuras 3.4 a 3.7.

Segundo os autores, o rendimento de alcatrão, em peso, é de 2% para carbonizações processadas a 430°C e taxas de aquecimento de 0,1°C/min. Mantendo-se esta mesma temperatura, porém se modificando a taxa de aquecimento para 1°C/min, o rendimento aumenta para 8%.

<sup>7</sup> Um maior volume de ar leva a uma combustão mais rápida.



**Figura 3.15 - Ilustração de um forno de superfície**



**Figura 3.16 - Ilustração de um forno de superfície com câmara externa**

Comparando-se os diversos tipos de fornos tem-se o seguinte quadro (Tabela 3.20):

Tabela 3.20 - Quadro síntese dos diversos tipos de fornos de carbonização

| Tipo de Forno  | Volume (m <sup>3</sup> ) | Diâm. Interno (m) | Altura Máxima(m) |
|----------------|--------------------------|-------------------|------------------|
| Rabo Quente    |                          | 3                 | 2.3 (interna)    |
| Encosta        | 22                       | 4                 | 2.36 (interna)   |
| Superfície     | 36                       | 5                 | 3.1 (total)      |
| Câmara Externa | 36                       | 5                 | 3.1 (total)      |

Embora seja possível se encontrar fornos tipo “rabo-quente” com 5 m de diâmetro, a medida predominante ainda é de 3 m. Com este diâmetro a construção do forno demanda apenas 1.500 tijolos.

### 3.6. COMENTÁRIOS FINAIS

- o carvão vegetal é perfeitamente capaz de substituir o carvão mineral como termo-redutor nos processos térmicos requeridos pela sidero-metalurgia. Em comparação ao carvão mineral o vegetal apresenta maior reatividade, nenhum enxofre e baixo teor de cinzas. O poder calorífico do carvão vegetal está em torno de 6800 kcal/kg;
- a variação de temperatura na carbonização permite o controle da qualidade do carvão a ser formado, do rendimento e dos compostos obtidos na destilação da madeira;
- o aumento da temperatura de carbonização diminui o rendimento em carvão, retira os voláteis forçando o seu aparecimento durante as fases líquidas e gasosas (entre 0 °C e 280 °C), porém aumenta o teor de carbono fixo (que é inversamente proporcional ao rendimento em carvão). Contudo isto pode ser evitado ao se

- diminuir o rendimento gravimétrico do processo (peso base seca) porém mantendo-se o carbono fixo constante;
- outras espécies vegetais (no caso as espécies amazônicas citadas ao longo das **Tabelas 3.8, 3.9 e 3.10**) além do eucalipto apresentam rendimentos superiores a este em termos de volume médio (kg/mst), porém de rendimento médio no que se refere a a peso base seca. O poder calorífico superior se situa entre 7219,45 cal/g e 8284,42 cal/g, entretanto o teor de cinzas geralmente é maior que o do carvão de eucalipto. No geral o maior problema para a produção de carvão vegetal com estas espécies é de escala. Embora forneçam carvão de qualidade, não existe distribuição espacial capaz de atender a demanda industrial por carvão vegetal;
  - os três componentes principais da madeira, quais sejam a celulose, a hemicelulose e a lignina, ocorrem nas seguintes proporções 50:20:30 (média do eucalipto), respectivamente. A celulose se degrada entre 325 °C e 375 °C, já a hemicelulose entre 225 °C e 325 °C, por fim a lignina entre 150 °C e 500 °C. Destes três componentes o que guarda maior relação com o rendimento em carvão (diretamente proporcional) é a lignina;
  - embora existam fornos de carvoejamento mais avançados que o tipo “rabo-quente” capazes de um melhor rendimento em carvão vegetal bem como de um melhor controle térmico do processo (forno de superfície e forno de câmara externa), o forno “rabo-quente” ainda é tradicionalmente o mais usado. Neste tipo de forno o rendimento do processo de carvoejamento se situa entre 15% a 25%;
  - dos quatro tipos de fornos de carvoejamento aqui apresentados, os que mais se prestam a instalação de mecanismos recuperadores de alcatrão são o forno de superfície e o forno com câmara externa;



- o rendimento em alcatrão está diretamente ligado a taxa de aquecimento. Para carbonizações conduzidas a 430 °C com taxas de aquecimento de 0,1 °C/min o rendimento de alcatrão, em peso, é de 2%. Porém se a taxa for elevada para 1 °C/min o rendimento aumenta para 8%. Alguns autores como Almeida (op. cit.) situam um rendimento de 120 kg de alcatrão para um forno de 5 m de diâmetro carregado com 580 kg de madeira (20,68%). O alcatrão costuma aparecer na faixa de temperatura entre 280 °C e 500 °C;
- as sugestões para a melhor operação dos altos-fornos a carvão vegetal são na realidade medidas que vêm sendo adotadas paulatinamente desde 1977 e que se constituem basicamente no controle dos processos térmicos ocorrentes em altos-fornos, no controle das propriedades dos insumos e na incorporação de novas tecnologias como a automação do alto-forno.

O próximo capítulo tratará dos possíveis insumos alternativos ao carvão vegetal na produção de gusa, bem como de alternativas a própria produção guseira, na forma de usinas integradas produtoras de aço.

---

## **CAPÍTULO IV: PRODUTOS E INSUMOS**

### **ALTERNATIVOS À PRODUÇÃO DE FERRO-GUSA E**

### **CARVÃO VEGETAL FLORESTAL**

---

#### **4.0. INTRODUÇÃO**

Este capítulo discute insumos alternativos ao emprego de carvão vegetal florestal, bem como alternativas à produção de ferro-gusa, isto é, a produção de aço.

Inicialmente é apresentada a possibilidade de produção de semi-elaborados de aço, em cuja produção o gusa entraria como insumo. Estas usinas se localizariam na Região Norte do Brasil, mais especificamente na área do Projeto Grande Carajás (PGC), ao longo de três cidades-pólos produtores de ferro-gusa; Marabá-PA, Açailândia-MA e Santa Inês-MA.

A discussão é centrada na Região Norte porque a alternativa de produção integrada se encontra em discussão, em vias de implantação. O mesmo já não ocorre em Minas Gerais onde a implantação de usinas produtoras de aço já se deu.

Após isto passa-se a abordagem de três insumos possíveis ao carvão vegetal florestal: o gás natural, o carvão mineral e o carvão obtido de coco de babaçu.

O gás natural é um insumo que se refere ainda à produção integrada. Sendo assim as alternativas de fornecimento são ligeiramente exploradas, idem a penetração de gás no mercado nacional e os possíveis impactos ambientais advindos de sua exploração.

Já o carvão mineral e o coco de babaçu se referem à produção de ferro-gusa. Por sua vez, o carvão mineral se apresenta como uma alternativa imediata de termo-redutor ao carvão vegetal florestal, faz-se oportuno uma breve discussão a respeito de sua inserção na sidero-metalurgia.

O coco de babaçu entra na discussão como um termo-redutor também vegetal, sendo assim analisado em termos de rendimento, viabilidade de emprego e comportamento eletrometalúrgico, ou seja, como mais um insumo alternativo a ser empregado na siderurgia. Por fim são tecidas algumas críticas à possibilidade de emprego do mesmo na produção de ferro-gusa.

#### **4.1. PRODUTOS DE MAIOR VALOR AGREGADO**

Do ponto de vista da sidero-metalurgia um pólo de produção de ferro-gusa deve estar localizado próximo as reservas de minério de ferro, disponibilidade de água, termo-redutor em quantidade e de fácil acesso e infra-estrutura de transporte.

O Estado de Minas Gerais quando da implantação de seu pólo guseiro preencheu todas estas condições - embora hoje em dia tal já não aconteça em termos de fácil acesso ao carvão vegetal. Da mesma forma o Projeto Ferro Carajás também atende a estas exigências.

Porém uma parte do setor sidero-metalúrgico reconhece que a produção de ferro-gusa apresenta alguns inconvenientes:

- devido a oferta de sucata, que é capaz de substituir o gusa nas aciarias, este último apresenta um preço baixo (Tabela 4.1);

Tabela 4.1 - Geração e aquisição de sucata na siderurgia (10<sup>3</sup> t)

| Ano  | Geração de Sucata no Mercado Interno | Aquisição de Sucata | Consumo de Sucata |
|------|--------------------------------------|---------------------|-------------------|
| 1983 | 2667                                 | 2894                | 5567              |
| 1984 | 2965                                 | 3651                | 6324              |
| 1985 | 3629                                 | 3423                | 6998              |
| 1986 | 3718                                 | 3491                | 7198              |
| 1987 | 4013                                 | 3213                | 7319              |
| 1988 | 4242                                 | 3409                | 7676              |
| 1989 | 4654                                 | 3417                | 8032              |
| 1990 | 3248                                 | 2878                | 6574              |
| 1991 | 3155                                 | 2545                | 5714              |
| 1992 | 3482                                 | 2660                | 6086              |

Fonte: IBS (1993)

- o teor energético do gusa é elevado e é indevidamente valorizado;
- o carvão vegetal é capaz de produzir gusa de qualidade, o que entretanto não é reconhecido.

Baseada nisso, a CVRD apud Machado (1992) decidiu em 1987 realizar um estudo de viabilidade cujo objetivo era determinar a possibilidade técnico-econômica de se produzir tarugos e placas de aço em Carajás, que se constituía no mais novo pólo de produção guseira em instalação.

Este estudo se baseava na premissa de se produzir carvão vegetal a partir de reflorestamento, procedendo ao carvoejamento, e em seguida à operação do alto-forno a carvão vegetal sendo a aciaria a oxigênio.

A produção de aço se daria ao longo da Estrada de Ferro Carajás, nas cidades de Marabá, Açailândia e Santa Inês, que são sedes de pólos guseiros.

O estudo também previa o transporte de gusa, na forma líquida, por meio de carretas à semelhança do sistema empregado pela Siderúrgica Pains (MG).

As plantas de aço seriam de quatro capacidades diferentes:

- 200 mil e 400 mil t/a para a produção de tarugos;
- 400 mil e 800 mil t/a para a produção de aço.

Para efeitos de prosseguimento do estudo foram considerados os seguintes parâmetros:

- alto-forno com capacidade de produção de 60 mil t/a de ferro-gusa;
- alto-forno com capacidade de produção de 150 mil t/a de ferro-gusa;
- alto-forno convencional;
- alto-forno otimizado com a injeção de finos;
- preço do carvão vegetal de origem nativa US\$ 45/t;
- preço do carvão vegetal de origem reflorestamento US\$ 59,70/t em Marabá, US\$ 53,60/t em Açailândia e US\$ 56,55/t em Santa Inês;
- preço FOB estivado dos tarugos US\$ 175/t (produto de qualidade certificada) e US\$ 165/t (produto comercial);
- preço FOB estivado das placas de aço US\$ 180/t (produto de qualidade certificada) e US\$ 170/t (produto comercial)
- cálculo da Taxa de Retorno Interna se considerando o tempo de investimento igual a dois anos, com 30% investido no primeiro ano e os 70% seguintes no segundo ano.

As conclusões apresentadas foram (CVRD, 1987 apud Machado op.cit):

- as centrais de aço são viáveis economicamente;
- as taxas de retorno para os produtos de qualidade certificada<sup>1</sup> (preços FOB - Itaquí, US\$ 175/t para tarugos e US\$ 180/t para aço) foram considerados de aceitáveis a ótimas, desde que produzidos em altos-fornos de 60 mil ou de 150 mil t/a, convencionais ou otimizados com injeção;

---

<sup>1</sup> Os preços de exportação considerados se basearam na média de 1979 a 1989 dos produtos semi-acabados de aço.

- as taxas de retorno para o carvão vegetal de origem nativa (14,7% a 19,7%) e para o carvão vegetal de origem reflorestamento<sup>2</sup> (7% a 15,8%) são compatíveis para altos-fornos otimizados com injeção (capacidade de 150 mil t/a) (taxa de retorno entre 1,6% e 15,8%), não se aplicando a altos-fornos convencionais;
- os preços para os produtos comerciais (preços FOB - Itaqui US\$ 165/t de tarugo e US\$ 165/t de aço) são aplicáveis a uma produção feita a partir de carvão vegetal nativo (taxa de retorno entre 8 e 13,8%), porém em se considerando o carvão vegetal de reflorestamento, este se aplica a altos-fornos com injeção de capacidade 150 mil t/a e taxa de retorno entre 4,9 e 9,6% a.a. (Tabelas 4.2 a 4.6):

Tabela 4.2 - Taxa de retorno a.a. (%) para projetos produtores de semi-elaborados de aço (tarugos)

| Preço FOB estimado<br>US\$ 175/t          | Marabá | Açailândia | Santa Inês |
|---|--------|------------|------------|
| Alto-forno 60 mil t/a<br>carvão nativo    |        |            |            |
| Convencional                              | 16.1   | 15.6       | 15         |
| Otimização com injeção                    | 17.8   | 17.4       | 16.9       |
| carvão de reflorestamento                 |        |            |            |
| Convencional                              | 7      | 10.5       | 7.8        |
| Otimização com injeção                    | 11.6   | 13.8       | 12         |
| Alto-forno 150 mil t/ano<br>carvão nativo |        |            |            |
| Convencional                              | 16.7   | 16.3       | 15.6       |
| Otimização com injeção                    | 19.7   | 19.3       | 18.7       |
| carvão de reflorestamento                 |        |            |            |
| Convencional                              | 8      | 11.3       | 8.8        |
| Otimização com injeção                    | 13.6   | 15.8       | 13.9       |

Fonte: CVRD (1987) apud Machado (1992)

Tabela 4.3 - Taxa de retorno a.a. (%) para projetos produtores de semi-elaborados de aço (tarugos)

| Preço FOB estimado<br>US\$ 165/t        | Marabá | Açailândia | Santa Inês |
|---|--------|------------|------------|
| Alto-forno 60 mil t/a<br>carvão nativo  |        |            |            |
| Convencional                            | 9.3    | 8.7        | 8          |
| Otimização com injeção                  | 12     | 11.5       | 10.9       |
| carvão de reflorestamento               |        |            |            |
| Convencional                            |        | 2.6        |            |
| Otimização com injeção                  | 4.9    | 7.4        | 5.3        |
| Alto-forno 150 mil t/a<br>carvão nativo |        |            |            |
| Convencional                            | 10     | 9.3        | 8.8        |
| Otimização com injeção                  | 13.8   | 13.3       | 12.7       |
| carvão de reflorestamento               |        |            |            |
| Convencional                            |        | 3.7        | 0.5        |
| Otimização com injeção                  | 6.8    | 9.3        | 7.1        |

Fonte: CVRD (1987) apud Machado (1992)

<sup>2</sup> No estudo se considera que a participação de carvão vegetal de origem reflorestamento é de 50% na implantação, chegando a 100% no décimo ano.

Tabela 4.4 - Taxa de retorno a.a.(%) para projetos produtores de semi-elaborados de aço (placas)

| Preço FOB estivado<br>US\$ 180/t | Marabá | Açailândia | Santa Inês |
|----------------------------------|--------|------------|------------|
| Alto-forno 60 mil t/a            |        |            |            |
| carvão nativo                    |        |            |            |
| Convencional                     | 15.9   | 15.4       | 14.7       |
| Otimizado com injeção            | 17.6   | 17.2       | 16.6       |
| carvão de reflorestamento        |        |            |            |
| Convencional                     | 7.3    | 10.5       | 7.9        |
| Otimização com injeção           | 11.7   | 13.8       | 11.9       |
| Alto-forno 150 mil t/a           |        |            |            |
| carvão nativo                    |        |            |            |
| Convencional                     | 16.5   | 16         | 15.3       |
| Otimização com injeção           | 19.4   | 18.9       | 18.3       |
| carvão de reflorestamento        |        |            |            |
| Convencional                     | 8.3    | 11.3       | 8.9        |
| Otimização com injeção           | 13.5   | 15.5       | 13.7       |

Fonte: CVRD (1987) apud Machado (1992)

Tabela 4.5 - Taxa de retorno a.a.(%) para projetos produtores de semi-elaborados de aço (placas)

| Preço FOB estivado<br>US\$ 170/t | Marabá | Açailândia | Santa Inês |
|----------------------------------|--------|------------|------------|
| Alto-forno 60 mil t/a            |        |            |            |
| carvão nativo                    |        |            |            |
| Convencional                     | 9.6    | 9          | 8.3        |
| Otimização com injeção           | 12.2   | 11.7       | 11         |
| carvão de reflorestamento        |        |            |            |
| Convencional                     |        | 3.3        | 0.2        |
| Otimização com injeção           | 5.4    | 7.8        | 5.7        |
| Alto-forno 150 mil t/a           |        |            |            |
| carvão nativo                    |        |            |            |
| Convencional                     | 10.3   | 9.7        | 9          |
| Otimização com injeção           | 13.8   | 13.3       | 12.7       |
| carvão de reflorestamento        |        |            |            |
| Convencional                     | 0.6    | 4.3        | 1.3        |
| Otimização com injeção           | 7.2    | 9.6        | 7.4        |

Fonte: CVRD (1987) apud Machado (1992)

O estudo ainda previu o investimento necessário para a implantação de uma central de aço nas três cidades-sedes de pólos guseiros, que são Marabá, Açailândia e Santa Inês. O resultado está sintetizado nas Tabelas 4.5 A que apresenta a alternativa de alto-forno convencional e a 4.5 B com a alternativa de alto-forno otimizado com a injeção de finos:

Tabela 4.5 A - Investimento necessário à implantação de uma central de aço nas cidades de Marabá, Açailândia e Santa Inês - alto forno convencional (US\$/Lano de tarugo)

|  | Marabá        | Açailândia | Santa Inês    |
|--|---------------|------------|---------------|
| <b>Alto-forno convencional</b>         |               |            |               |
| Terra, reflorestamento e carvoejamento | 174.40        | 130.30     | 151.70        |
| Alto-forno                             | 56.50         | 56.50      | 56.50         |
| Acitaria EOF                           | 129.20        | 129.20     | 129.20        |
| <b>Total</b>                           | <b>360.10</b> | <b>316</b> | <b>337.40</b> |

Fonte: CVRD (1987) apud Machado (1992)

**Tabela 4.5 B - Investimento necessário à implantação de uma central de aço nas cidades de Marabá, Açailândia e Santa Inês - alto forno otimizado com injeção de finos (US\$/t.ano de tarugo)**

|   | Marabá        | Açailândia    | Santa Inês    |
|---|---------------|---------------|---------------|
| <b>Alto-forno otimizado, com injeção de finos</b> |               |               |               |
| Terra, reflorestamento, e carvoejamento           | 141.70        | 105.90        | 123.30        |
| Alto-forno  | 77.20         | 77.20         | 77.20         |
| Aciaria EOF                                       | 129.20        | 129.20        | 129.20        |
| <b>Total</b>                                      | <b>348.10</b> | <b>312.30</b> | <b>329.70</b> |

Fonte: CVRD (1987) apud Machado (1992)

## 4.2. O GÁS NATURAL NA PRODUÇÃO INTEGRADA

### 4.2.1. INTRODUÇÃO

A abordagem do gás natural como insumo à produção de gusa, vem na forma de sugestões sem quaisquer considerações de natureza econômica que vise definir a sua viabilidade frente a outros energéticos e/ou redutores.

O emprego de gás natural como alternativo ao carvão vegetal, poderia se dar como insumo à produção integrada, i.e., se reduzindo gusa numa primeira etapa para em seguida se produzir aço.

De um ponto de vista bastante simplificado, pode-se dizer que o investimento em gás natural seria pago pelo produto de maior valor comercial que seria o aço, e talvez numa etapa posterior, a maior remuneração permitisse a criação ou manutenção de florestas tanto plantadas quanto nativas, aliviando a carga destas no fornecimento de carvão vegetal.



#### 4.2.1.2. O FORNECIMENTO DE GÁS NATURAL

A América do Sul apresenta atualmente reservas de gás natural da ordem de 5.140 bilhões  $m^3$ , um volume tal que pode responder à demanda de 240 milhões  $m^3$  /dia, por um período de 50 anos. Já o Brasil, tem em reservas prováveis 60 milhões  $m^3$  /dia, porém tendo em vista o aumento do potencial de demanda a se concretizar com o emprego de GN na produção integrada, cogita-se então como potenciais exportadores de gás Colômbia, Peru, Bolívia e Argentina, por meio dos gasodutos Brasil-Bolívia, Brasil-Argentina, ou importação via GNL, num expediente capaz de levar o potencial de demanda até 120 milhões  $m^3$  /dia.

O gás natural a ser consumido pelos projetos sidero-metalúrgicos do Complexo Carajás seria originário num primeiro momento das reservas de Urucu e Juruá, que atualmente possuem em reservas globais 35,5 bilhões de  $m^3$ . Até o final de 1993 Urucu era capaz de produzir 850 mil  $m^3$  /dia de gás (aproveitamento máximo de 720 mil  $m^3$  /dia) obtidos na estação de compressão de gás natural da região. Atualmente após investimentos da PETROBRÁS da ordem de US\$ 1,3 bilhão, a produção é de 16 mil b/d de óleo e 880 mil  $m^3$  gás/d. Existem planos de mais investimentos da ordem de US\$ 1,2 bilhão feitos pela PETROBRÁS, de modo a permitir que a ELETRONORTE receba em 1997 cerca de 2,4 milhões  $m^3$  /d, com planos de em vinte anos se atingir o montante de 10,4 milhões  $m^3$  /d. Num primeiro instante este gás visa o atendimento de Manaus e Porto Velho (Belchior, 1995).

O escoamento desse gás, de forma econômica, pode se efetivar com uma combinação de gasoduto e GNL transportado. Um esquema provável seria estender um gasoduto até Coari, na margem do Solimões, onde haveria uma unidade de liquefação

de gás, que reduziria em 600 vezes o seu volume original. A partir daí o transporte se daria por balsas criogênicas até pontos de consumo (por exemplo Manaus), onde seria gaseificado novamente.

Todavia, deve-se ter em mente, que a construção de um gasoduto na selva além de cara é muito problemática, no caso de gasoduto até Coari, a distância percorrida teria de ser de 276 km. Mais econômico seria a construção de 50 km seguindo o traçado de dutos de óleo e GLP até Porto Terminal nas margens do rio Tefé, onde seria implantada uma unidade de liquefação de gás. Ou então a utilização de embarcações criogênicas, que apresentam baixo custo.

Quanto ao atendimento energético do PGC via eletricidade não existe consenso quanto ao seu emprego imediato em detrimento de outros energéticos, como exemplo o gás natural. Segundo Bahia (1994) devido ao quadro atual de endividamento do setor elétrico (aproximadamente US\$ 22 bilhões) os novos investimentos em oferta só poderão ocorrer a partir de 2010.

Ainda segundo este autor a oferta de eletricidade impediria o emprego do gás de Urucu a curto prazo, passível de múltiplos usos e importante no desenvolvimento de pólos industriais na Região Amazônica como o Pólo Potássio/Soda Cloro (AM) e Carajás.

O abastecimento a Carajás pode se dar por meio do gás da Venezuela, que detém 60% das reservas da América do Sul. Este país tem planos de construir plantas de liquefação, para permitir a exportação de GNL.

Também a Colômbia pode exportar gás, via fluvial fazendo o trajeto Caquetá-Japurá-Solimões e Putumayo-Iça-Solimões, o que é bem mais barato que um gasoduto,

para atender a demanda prevista para o PGC de 10 milhões m<sup>3</sup> /dia no ano 2010 (Bahia, op. cit.,).

#### 4.2.2.1. O FORNECIMENTO DO GÁS DE URUCU

Em se considerando o transporte do gás na forma de GNL, serão necessárias instalações que permitam a liquefação, o transporte e o armazenamento de gás natural.

Antes da liquefação, procede-se a remoção das impurezas presentes no GN, como H<sub>2</sub> S, CO<sub>2</sub>, umidade e HC mais pesados, que podem solidificar durante o resfriamento, quando presentes em concentração elevada.

Com vistas à liquefação, e considerando que a planta irá ser instalada na selva, arbitra-se a escolha do processo industrial denominado de PRICO, por possuir menor número de equipamentos (Figura 4.1), bem como a possibilidade de uma instalação expedita em poucos meses.

Este tipo de planta estaria assentado sobre plataforma móveis (skids), dispostas duas a duas. A disposição seria um par de plataformas para os turbo-compressores, um par para os air-coolers e um par para vasos e bombas. Um conjunto destes tem capacidade de atender a demanda de  $1,8 \times 10^6$  Nm<sup>3</sup> /d de gás natural e permite ainda a agregação de novos módulos, segundo o crescimento da demanda.

Na cidade de Coari ficaria instalado o terminal expedidor, conjuntamente com a planta de liquefação. O terminal se compõe basicamente de tanques de armazenamento, bombas de transferência, compressores de "boil-off" mais pier flutuante. Já em Manaus e Porto Velho estarão situados os centros recebedores. Estes por sua vez apresentarão

pier de atracação, tanques de armazenamento, bombas de transferência, compressores de “boil-off” e revaporizadores (Moreira & Fortes Filho, 1993).

A liquefação do gás consome energia que pode ser reaproveitada durante a fase de revaporização do GNL. Nesta planta, o reaproveitamento se dará na forma de GLP,

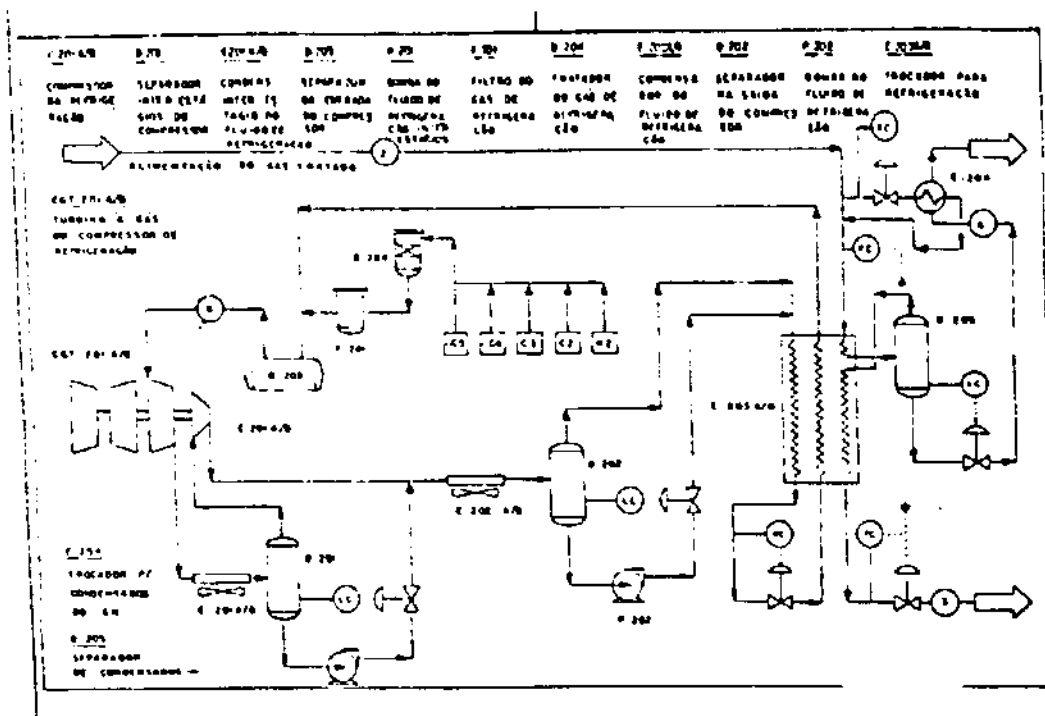


Figura 4.1 - Fluxograma do Processo Prico

que será produzido segundo a relação de 150 t de GLP para cada revaporização de  $1 \times 10^6 \text{ Nm}^3$ .

Podem também ser obtidos oxigênio e nitrogênio a partir da liquefação do ar, ou ainda extraídos etano, propano e butano ou ser produzido frio industrial (Figura 4.2).

O transporte de GNL seria feito por barcaças especialmente adaptadas para navegar nos rios Madeira, Solimões e Amazonas, segundo as variações sazonais de lâmina d'água que ocorrem na região.

A composição de transporte contaria com um empurrador e quatro barcaças com destino a Manaus ou Porto Velho, ou em um conjunto menor dividindo-se em duas barcaças e um empurrador (Figura 4.3).

As especificações tanto das barcaças quanto dos empurradores, levaram em conta o volume de gás a ser transportado, o tempo de viagem, a velocidade da embarcação e da correnteza. O calado limitante das barcaças foi arbitrado como o mesmo do rio Madeira, em vista ser este, o que maior variação de lâmina d'água sofre durante o ano. As especificações das embarcações seriam então (Tabela 4.6):

Tabela 4.6 - Especificações das barcaças de transporte de gás natural

|                             | Barcaça | Empurrador - Manaus | Empurrador-Porto Velho |
|-----------------------------|---------|---------------------|------------------------|
| Potência (bhp)              |         | 1950                | 1320                   |
| Capacidade ( $\text{m}^3$ ) | 1900    |                     |                        |
| Comprimento (m)             | 80      | 20.3                | 17.3                   |
| Boca (m)                    | 15      | 8                   | 7                      |
| Calado (m)                  | 1.5     | 1.6                 | 1.5                    |

Fonte: Moreira & Fortes Filho (1993)

Segundo Moreira & Fortes Filho (op. cit.), o investimento médio de um projeto desses com maturação média de vinte anos, teria um custo de implantação de US\$ 70 a US\$ 77/1  $\text{Nm}^3$  dia de gás fornecido<sup>3</sup>. Já os custos operacionais anuais, ficariam na média de US\$ 5 a US\$ 6/1  $\text{Nm}^3$  dia de gás fornecido.

<sup>3</sup> 1000  $\text{Nm}^3$ /dia é equivalente a 1  $\text{m}^3$  óleo/dia que é equivalente a 6.29 BEP/dia

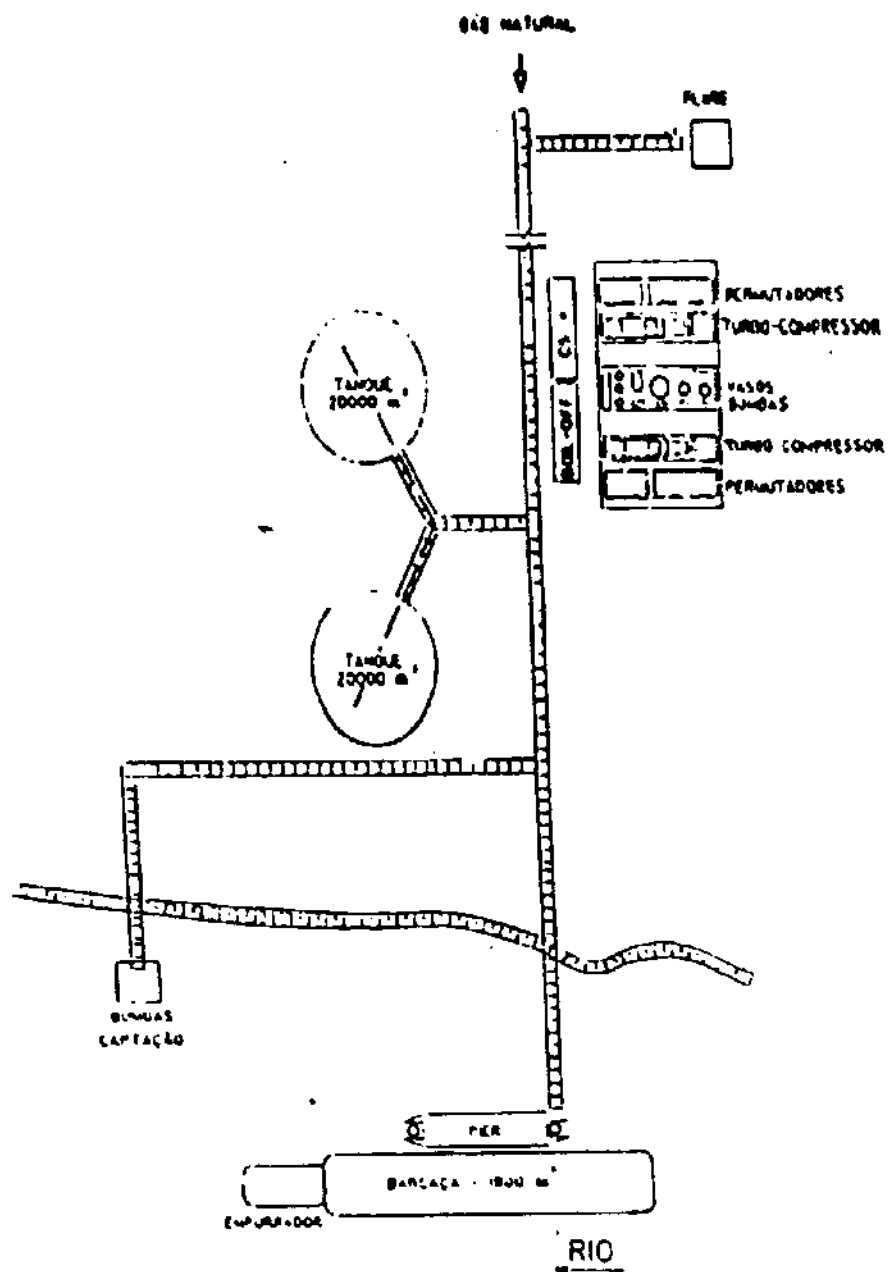
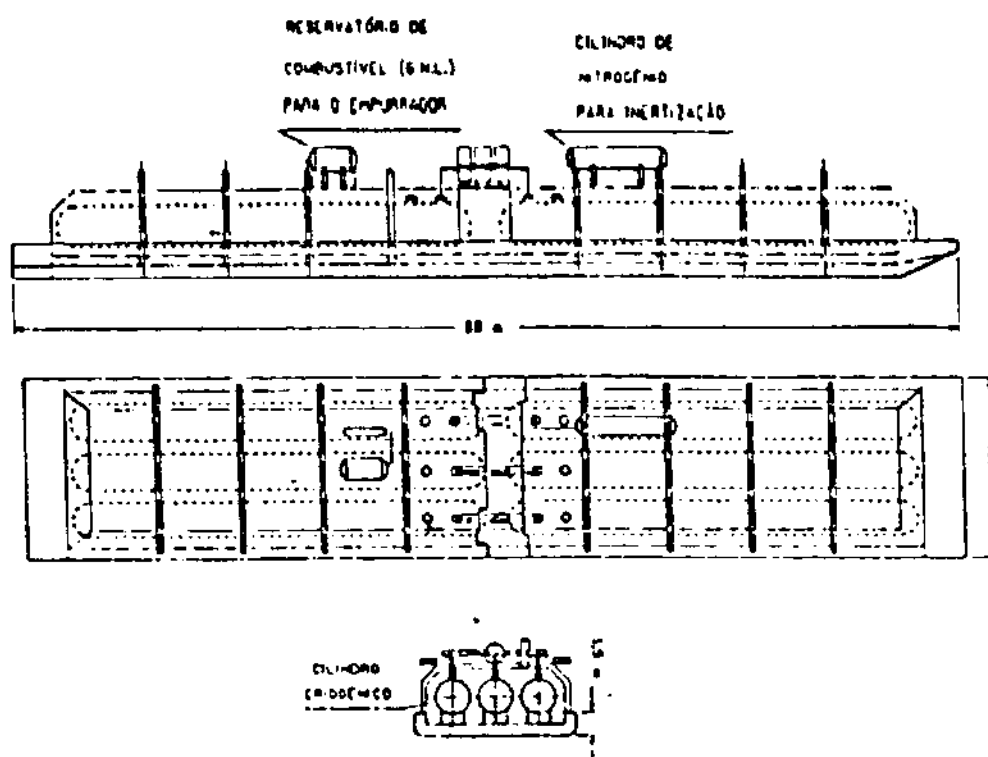


Figura 4.2 - Ilustração do tipo de unidade auxiliar montada sobre "skids"



**Figura 4.3 - Ilustração do tipo de barcaça criogênica a ser empregada no transporte de gás natural**

#### 4.2.1.3. A PENETRAÇÃO DO GÁS NATURAL NO MERCADO BRASILEIRO

Araújo apud Rodrigues & de Araújo (1992) estudou a penetração do GN no mercado brasileiro, bem como o deslocamento que produziria de outros energéticos como o óleo combustível empregado no setor industrial, o diesel no setor de transportes e o GLP e a energia elétrica no setor residencial. Segundo esse estudo o deslocamento seria melhor absorvido no setor industrial e de transportes que no residencial, pois este possui custos elevados de implantação para redes de distribuição em função da ocupação urbana. Os coeficientes de penetração para mercados potenciais no Sudeste, num cenário de taxa de PIB de 5% a.a. e crescimento médio anual de 4% foram os seguintes (**Tabela 4.7**):

**Tabela 4.7** -Coeficiente de penetração do GN nos mercados do SE deslocando OC, OD e GLP

| Energético Deslocado | Penetração (%) |       |
|----------------------|----------------|-------|
|                      | 1995           | 2000  |
| Anos                 |                |       |
| OC                   | 50             | 90    |
| OD                   | 50             | 100   |
| GLP                  | 5-8            | 10-15 |

Fonte: Rodrigues & Araújo (1992)

A fim de se atingir o objetivo de suprir a demanda dos projetos siderometalúrgicos brasileiros, via gás natural, deve-se considerar os fatores limitantes à consecução desse objetivo. O aumento da participação de gás no mercado nacional passa pelo processo de aumento das reservas nacionais de gás, via incentivos e investimentos tanto à exploração quanto à recuperação, que traz à reboque o desenvolvimento e melhoria do parque de processamento e do sistemas de transporte, por fim é indispensável a ponderação e a proposição de alternativas a quatro das mais sérias restrições ao gás, estas seriam: a) o deslocamento (substituição) de outros energéticos; b) política de preços; c) aspectos institucionais; e d) a oferta de gás natural (Guedes & Marcusso, 1992).



a) **o deslocamento (substituição) de outros energéticos:** haverá a substituição da energia hidrelétrica, do consumo de óleo combustível e em menor escala da lenha, carvão mineral e vegetal. Esta ação é limitada pelos investimentos necessários à adequação dos equipamentos industriais, ou a ampliação da rede de distribuição, no caso da eletricidade para atendimento domiciliar. Neste sentido, deve se estudar com cautela os impactos da penetração do gás nestes mercados;

b) **política de preços:** atualmente o custo do gás, para utilização energética está em torno de 80% do preço do óleo combustível, num mecanismo para contrabalançar os custos de conversão de motores automotivos e o transporte de GN por gasodutos ou como GNL. Existem preços diferenciados segundo o uso final do gás, seja o uso combustível, seja como redutor siderúrgico, ou como combustível para empresa distribuidora (custando 24% a menos que o uso combustível de venda direta), ou ainda no uso domiciliar, ou matéria-prima para a indústria petroquímica e de fertilizantes;

c) **aspectos institucionais:** embora o Art.II do Parágrafo 25 da Constituição Federal, conceda aos Estados a exploração do gás canalizado, alguns Estados consideram que qualquer fornecimento de gás em seu território constitui-se em distribuição competente às distribuidoras estaduais. Isto levou estes Estados a aprovarem em suas Constituições Estaduais dispositivos assegurando a distribuição. A PETROBRÁS discorda dessa visão por achar que seu monopólio de transporte é ferido, embora reconheça não existir impedimento quanto às distribuidoras estaduais fornecerem gás às indústrias. Todavia, agora este quadro parece se reverter, face à revisão constitucional que se processa, a qual aparentemente, irá modificar a situação de monopólio distributivo da PETROBRÁS.

**d) a oferta de gás natural:** a oferta de um energético deve ser economicamente viável a fim de se criar um mercado consumidor. A economicidade por sua vez está relacionada tanto ao tempo que a oferta leva para entrar no mercado quanto à demanda deste. No caso do gás natural em que a oferta está abaixo da capacidade de produção, este perde lugar em relação a outros energéticos que são capazes de suprir a demanda em menor tempo. A fim de se garantir mercado ao gás, devem ser criados mecanismos que visem tanto o aumento da oferta quanto do consumo. Por exemplo, nos contratos atuais em que os prazos de compra e venda de gás (fornecimento) ficam entre 5 e 15 anos, o aumento da oferta, poderia ser obtido se fosse garantida ao gás uma parcela de suprimento, de modo a manter a oferta constante num determinado período e paulatinamente ir aumentando, por importação ou reavaliação e descobertas de novas reservas.

#### **4.2.1.4. O ATENDIMENTO DE CARAJÁS POR GÁS NATURAL**

No item 4.2.1.2. tratou-se das possíveis rotas de fornecimento de gás natural à Carajás. Descarta-se aqui como hipótese primeira o atendimento via gasoduto, devido as dificuldades inerentes a engenharia em regiões inóspitas como a Amazônica. Muito provavelmente, a melhor forma de transporte de gás para a região do pólo seria via embarcações criogênicas, de custo bem menor que o gasoduto. Nada mais seria que um prolongamento do transporte procedido até Manaus, via fluvial (item 4.2.1.2.1).

A entrada de gás natural no Projeto Carajás, para atendimento da produção integrada, poderia permitir o redirecionamento da utilização de coque e carvão vegetal para a produção independente de ferro-gusa. Sendo muito provável que os produtores

independentes não possam utilizar coque, continuando a operar com carvão vegetal, e como também é bem possível que não possuam condições de se auto-suprirem em carvão de reflorestamento, a produção independente de gusa na Região Amazônica seria encerrada.

A produção de aço, via gás natural, permitiria apenas a manutenção de uma parcela de siderurgia a carvão vegetal, qual seja a ligada à produção integrada, uma vez que o carvão vegetal seria oriundo de reflorestamento.

Como a produção de aço, em Carajás, seria atendida via gás natural, a energia elétrica atualmente consumida no pólo (via UHE de Tucuruí), poderia ser remanejada a outras áreas satélites ao projeto, porém carentes de atendimento energético. Todavia, a análise de como se daria o abastecimento energético dessas populações foge ao escopo do presente trabalho.

### **4.3. CARVÃO MINERAL**

#### **4.3.1. INTRODUÇÃO**

Em virtude de se tratar de uma fonte energética bem mais viável no presente que o gás natural, o carvão mineral não poderia ficar de fora das considerações de insumos alternativos ao carvão vegetal.

A consideração dessa abordagem passa pela discriminação das características necessárias ao carvão mineral passíveis de permitir o seu emprego industrial, da consideração dos custos envolvidos em sua exploração e transporte e até o estudo das possíveis rotas de importação de carvão para o consumo doméstico.

### 4.3.2. CARACTERÍSTICAS DO CARVÃO MINERAL

As características discutidas a seguir dizem respeito ao uso final do carvão, se como combustível, se como insumo à indústria química (fornecendo compostos), etc.. Da mesma forma os teores de voláteis ou a presença de determinados componentes pode ser determinística na sua utilização. Por exemplo, o carvão nacional apresenta quantidades de enxofre em média superiores a 5% e quantidade de finos que pode chegar a 60%. Estas características inviabilizam seu uso industrial sem medidas de melhoria no processos de extração de enxofre e contenção de finos, o que pode significar custos elevados. Padrões internacionais aceitam carvão com enxofre entre 1% a 2% e entre 5% e 15% de finos como ideal para uso industrial.

O uso de carvão pode se dar nos seguintes setores industriais (Tabela 4.8):

Tabela 4.8 - Setores industriais que utilizam carvão mineral

| Setor/Uso   | Vapór e Aq. Água   | Fornos e Fornalhas | Gaseific.       | Liquef.      | Eletricid.  | Óleo Comb.          |
|-------------|--------------------|--------------------|-----------------|--------------|---|---------------------|
| Ferro & Aço |                    | Fornos             | Redução Direta  |              | Arco Elétrico   | Injeção de Combust. |
| Energia     | Comb. de Refinaria |                    |                 |              |   |                     |
| Outras      | Cogeração          | Cimento e Tijolos  | Gás e Baixo BTU | Força Motriz | Força Motriz, Alumínio, Cloretos e Electroaquecimento | Fornos              |
| Químicas    |                    |                    | Gás de Síntese  | BTX          |   | Materia-Prima       |

Fonte: Osborne (1988)

Contudo, apesar das características do carvão discutidas acima, e de sua participação como energético nos diversos setores industriais, toda a discussão quanto ao emprego deve ser necessariamente encarada do ponto de vista do suprimento e operacionalidade das plantas de redução. Esta ótica será abordada a seguir.

### 4.3.3. FERRO-GUSA, AÇO E CARVÃO MINERAL

O minério de ferro requer, na sua redução, um combustível que forneça calor, mas que também participe quimicamente da redução, fornecendo átomos de carbono para a reação química. Sendo assim, tanto o carvão vegetal quanto o mineral (coque) podem ser usados. Entretanto, o coque apresenta mais impurezas que o carvão vegetal, na forma de finos e teor de enxofre, o que leva a um produto final de qualidade inferior.

Embora, tradicionalmente, a sidero-metalurgia tenha sempre se valido do carvão mineral para a redução do ferro, em Minas Gerais onde se estabeleceu o primeiro pólo guseiro do Brasil, as reservas de carvão eram distantes das reservas de ferro, o que aliado a presença de massa florestal abundante e a baixa qualidade do carvão mineral nacional favoreceu o uso do carvão vegetal, uma tecnologia não mais usada desde a Revolução Industrial.

Aparentemente não há problema em se transicionar de redução a carvão vegetal para redução a coque, todavia, em se considerando a estrutura produtiva de aço e gusa brasileira, que apresenta produção independente e integrada, certas considerações devem ser feitas (Ackerman & Almeida, 1990):

a) deve existir o controle quanto a qualidade do coque; de modo a garantir um produto de padrão internacional. Na realidade brasileira, as características de coque exigidas somente são atendidas por meio de importações;

b) a importação de coque somente pode ser efetuada por siderúrgicas integradas, devido a estrutura operacional e burocrática exigida;

c) o uso de carvão mineral requer temperaturas elevadas, passíveis de serem obtidas apenas em grandes fornos;

d) os fornos dos produtores independentes não estão dimensionados ao uso do coque. A tentativa de dimensioná-los é limitada à relação entre volume de minério de ferro e volume de carvão vegetal, melhor dizendo, acima de uma certa dimensão o carvão vegetal, devido a sua baixa densidade, não suporta a carga de minério de ferro e cede, interrompendo a operação do forno;

e) o dimensionamento adequado dos fornos requer capital, num montante que os produtores independentes não possuem;

f) com as restrições cada vez maiores a utilização de carvão vegetal, em relação ao produtores independentes, elevação provável do preço devido à escassez de mata nativa e impossibilidade de transicionar para redução a coque, resta-lhes ou abandonar a produção de gusa, ou então a transferência da produção para a região Norte do Brasil (Carajás) onde há massa florestal abundante, o que talvez (não discutindo aqui as restrições legais à exploração de mata nativa) resulte num carvão vegetal a preço tal que viabilize a produção de ferro-gusa por mais alguns anos.

Quanto ao suprimento de coque, grande parte das siderúrgicas integradas do sudeste já o importa, e devido a qualidade (especificações) exigidas, geralmente a importação tem origem na Colômbia, Austrália ou Polônia.

No que se refere ao suprimento de carvão mineral à Carajás, a escolha, em primeira instância, de importação seria a Colômbia, por seu acesso natural ao Atlântico que facilita o acesso a Itaquí (porto do Projeto Carajás, sediado em São Luis-Ma) e pela proximidade da Amazônia Brasileira.

O carvão colombiano poderia vir dos departamentos de César, Córdoba ou Guajira, localizados na zona do Caribe, e de exploração quase que totalmente destinada à exportação (Arboledo, 1987 apud Soto, 1994).

Na região de Carajás existem ainda as ocorrências carboníferas da Formação Rio Fresco, que todavia, até o momento não se revelaram de aproveitamento econômico, tampouco energético, devido a num quadro geral apresentarem um elevado teor de finos, que varia entre 60% a 95%.

O material carbonoso de Rio Fresco pode ser classificado como semi-antracito, possuindo em suas melhores porções as seguintes características: 35% a 60% de carbono fixo, 35% a 60% de finos e poder calorífico superior entre 2.600 cal/g e 5.000 cal/g (Santos, 1981).

#### **4.4. COCO DE BABAÇU**

##### **4.4.1. INTRODUÇÃO**

Dentre os diversos alternativos vegetais que se apresentam concorrendo com o carvão vegetal florestal, o que mais se destaca é o coco de babaçu. O coco do babaçu (*Orbignia Speciosa*, Mart) é objeto de estudos referentes ao seu comportamento frente ao processo de carbonização desde a década de vinte, quando foram realizadas as primeiras experiências nesse sentido. Em grande parte, estes estudos partiram da observação da utilização do fruto em cocção doméstica pelos nativos das regiões dos babaçuais. Estudos estes que se justificavam também com base na distribuição extensa de babaçuais em diversas regiões do Brasil, o que permitiria um fornecimento de insumo

em escala industrial, na situação em que se necessitasse do côco para uso industrial, por exemplo na sidero-metallurgia.

#### 4.4.2. DISTRIBUIÇÃO GEOGRÁFICA DO COCO DE BABAÇU

As palmeiras de babaçu se distribuem do Estado do Maranhão até Minas Gerais, passando pelos Estados do Piauí, Tocantins e Mato Grosso, totalizando uma extensão territorial de 210.697 km<sup>2</sup>. O Maranhão responde pelo maior número de babaçuais, cerca de 70% dos existentes no País. Pode-se separar as concentrações de babaçu de interesse da indústria em duas, as grandes concentrações que se distribuem por 40.697 km<sup>2</sup>, respondendo por uma produção acima de 500 mil t de coco/ano, e as concentrações médias, que se estendem por 170.277 km<sup>2</sup>, com produção acima de 50 mil t de cascas/ano.

#### 4.4.3. ESTRUTURA PRODUTIVA DO CARVÃO DE BABAÇU

No ano de 1980, cerca de 265 mil famílias trabalhavam na feitura do carvão de babaçu, em fornos rústicos de carbonização. Esta produção se destinava exclusivamente para uso doméstico. A produção diária era de 15 kg, o que correspondia a capacidade do forno rústico, ou caieira. Esta quantidade é suficiente para uma família cozinhar durante dez dias. Já a produção de carvão de babaçu em fornos de carbonização era estimada em 15 mil t/ano. O Maranhão, então, podia responder por uma produção em fornos rústicos de 143.100 t/ano, cerca de oito vezes maior que a





dos fornos de carbonização, e na época representava cerca de 6% do potencial de produção do Estado (CVRD, 1980).

Assis, et al., (1982) reporta que esses babaçuais tem potencial de produzir, numa visão pessimista, cerca de 1,5 milhões t/ano, e numa visão bastante otimista cerca de 8 milhões t/ano.

As estimativas oficiais do Governo Maranhense, dão como potencial babaçueiro cerca de 10 milhões de t/coco/ano, com a geração de 1.640 mil t de carvão/ano a partir de cascas. Apenas a metade desse potencial poderia fornecer 820 mil t de carvão passível de produzir 1.200 mil t de gusa em altos-fornos (com capacidade de 680 kg de carvão/t de gusa), e 2.050 mil t de gusa em fornos elétricos (com capacidade de 400 kg carvão/t de gusa).

#### **4.4.3.1. PRODUTIVIDADE DOS BABAÇUAIS**

A produtividade das palmeiras de babaçu está diretamente relacionada a densidade de indivíduos presentes na região do babaçal. Se há um grande número de palmeiras, a produtividade de cocos é baixa, em virtude da competição que se estabelece entre os indivíduos em relação aos nutrientes, luz do sol e água. Segundo Wisniewski & de Melo (1981) num hectare de babaçal virgem podem ocorrer até 3 mil indivíduos. Para se melhorar a produtividade, torna-se necessário a aplicação do desbaste, onde restarão apenas as melhores palmeiras para produção. Ainda segundo os autores, a média presente de palmeiras num babaçal que sofreu desbaste é de 80 a 100 por hectare.

Uma palmeira é capaz de produzir cerca de 800 frutos/ano, admitindo-se então 100 palmeiras produtivas por hectare, ter-se-á então 17.600 kg de côco/ha/ano.

Estas 17.600 kg, poderiam fornecer:

2.640 kg de epicarpo  
 3.520 kg de mesocarpo  
 10.384 kg de endocarpo  
 1.056 kg de amêndoas

#### 4.4.4. APROVEITAMENTO DO COCO

A parte do coco que se aproveita para a produção de carvão é o endocarpo, que representa cerca de 58,5% do total de matéria do côco. Essencialmente o coco é composto de:

epicarpo 13%  
 mesocarpo 21,5% (total de 100%)  
 endocarpo 58,5%  
 amêndoa 7%

O endocarpo é rico em lignina (teor de 26 a 30%), sendo este o motivo primeiro de sua coqueificação. O valor de 58,5% de endocarpo é um valor médio, predominante no Maranhão, porém, existem cocos que apresentam 64% e até 70% em endocarpo.

Do ponto de vista químico, o endocarpo se constitui de:

|            |       |                    |            |
|------------|-------|--------------------|------------|
| umidade    | 10,2% | holocelulose       | 48,54%     |
| extrativos | 3%    | hidrogênio         | 5,9%       |
| cinzas     | 4%    | calor de combustão | 4.400 kcal |
| lignina    | 26,5% |                    |            |

Na combustão do coco, ocorre o despreendimento de gases, cuja composição por metro cúbico<sup>4</sup> é a que se segue:

|                 |      |
|-----------------|------|
| CO <sub>2</sub> | 59%  |
| CO              | 33%  |
| CH <sub>4</sub> | 3,5% |
| H               | 3%   |
| Outros          | 1,5% |
|                 | 100% |

Se considerar-se a produção estimada de 17.600 kg/ha, citada por Wisniewski & de Melo (op. cit), veremos que o endocarpo, com 10.384 kg, poderá fornecer:

|                               |                   |
|-------------------------------|-------------------|
| 2.949 kg de carvão            | (23.592.000 kcal) |
| 125 kg de metileno            | ( 750.000 kcal)   |
| 1.973 m <sup>3</sup> de gases | (2. 594.495 kcal) |

Já o mesocarpo com 3.520 kg, poderá fornecer:

|                      |
|----------------------|
| 2.112 kg de amiláceo |
| 823.680 kg de etanol |
| 5. 848. 128 kcal     |

O mesocarpo e o endocarpo, ainda segundo os autores, serão capazes de fornecer um total de 32. 784. 623 kcal/ha/ano.

A partir do estudo da combustão do endocarpo em laboratório, pode-se classificar em três ordens de importância, os compostos despreendidos. Estas seriam, os

<sup>4</sup> Segundo Wisniewski (op cit.) o poder calorífico deste gás é de 3 200 kcal/m<sup>3</sup> (contando com CO<sub>2</sub> ), porém sem este o poder calorífico cai para 1 315 kcal/m<sup>3</sup>.

compostos importantes despreendidos na pirogenação, os compostos importantes do ponto de vista energético, e os relativos a combustão.

Sob a ótica do processo de pirogenação do endocarpo, são de interesse, o carvão de retorta (resíduo que resta na retorta após a pirogenação), o ácido pirolenhoso e o alcatrão e os gases.

Quanto aos compostos do ponto de vista energético, tem-se o carvão, os gases e o metileno bruto (composto por álcool + acetona).

Já referente a combustão, são de interesse o carvão e os gases com e sem CO<sub>2</sub>.

Todos estes compostos, se relacionados a uma quantidade de 100 kg de endocarpo, poderão fornecer:

|   |                     |
|---|---------------------|
| 28,4 kg de carvão                                 | 227.200 kcal/100 kg |
| 25,8 kg de gases                                  | 24.985 kcal/100kg   |
| 1,2 kg de metileno<br>(álcool metílico + acetona) | 7.200 kcal/100 kg   |
| <b>total</b>                                      | <b>259.385 kcal</b> |

#### 4.4.5. COMPORTAMENTO METALÚRGICO EM FORNO ELÉTRICO

O carvão que pretenda ser empregado na metalurgia, deve atender a certos requisitos, que estão diretamente ligados a composição química do carvão e as condições em que ele foi carbonizado. Estes requisitos seriam: **a) resistência, b) dureza, c) porosidade, d) quantidade de cinzas, e) quantidade de enxofre e fósforo.**

**a) resistência:** de natureza mecânica, que permita a menor perda possível de matéria ao atrito, tanto no transporte quanto no alto-forno. Esta resistência do coque

está diretamente ligada a capacidade de resistir as pressões exercidas pela carga no alto-forno. Lá dentro as partes de coque se tocam apenas pontualmente, o que aumenta bastante as pressões. O próprio momento de descida de material proporciona um atrito elevado, e se o coque não tiver resistência para suportá-lo irá desprender finos, prejudicando a marcha do alto-forno;

b) **dureza**: o carvão deve quebrar o menos possível, de modo a permitir o transporte. Está diretamente relacionada com a quantidade de póros. Sendo maior ou menor na presença ou ausência destes. ;

c) **porosidade**: deve haver uma quantidade mínima de póros, quantos menos vazios, melhor se processa a reação com os gases de alto-forno. A diminuição da porosidade diminui também a resistência a passagem do ar, o que não ocorre quando o coque desprende finos;

d) **quantidade de cinzas**: interfere diretamente no processo de marcha do alto-forno. Alguns estudiosos estipulam que o máximo de cinzas do coque não deve ultrapassar 10%;

e) **quantidade de enxofre e fósforo**: o enxofre não deve ultrapassar 1,5%, e o fósforo entre 0,02% a 0,05%.

Ao se traçar considerações sobre carvão de babaçu, vai-se necessariamente no sentido de compará-lo ao carvão de eucalipto, já que ambos tem origem vegetal. Porém, com já foi dito anteriormente para a operação do alto-forno, características básicas devem ser atendidas, tanto pelo carvão vegetal, quanto pelo mineral, e é a partir destas características que será analisado o comportamento metalúrgico do carvão de babaçu. estas características comuns são: a reatividade, a composição química e a resistividade elétrica ( Matos, Castro, e Gonçalves, 1981).

**Reatividade:** a reatividade é inversamente proporcional ao aumento de consumo de carbono, pelo minério, e ao aumento de temperatura de início da reação e vice-versa. Essencialmente a reatividade se caracteriza pela ocorrência da reação de gaseificação entre C-CO<sub>2</sub>.

**Resistividade elétrica:** diz respeito a operação de fornos elétricos. Na operação de fornos de redução, a resistividade elétrica guarda relação com regulador de tensão (tap) e a corrente. Quando se trabalha com uma tap fixo, os valores de corrente podem ser inferiores aos do tap, já quando os valores de corrente são baixos, os valores de tap, poderão ser mais altos que os da corrente. O ideal é que um forno opere a potência fixa, com tensões mais altas e correntes mais baixas. Porém, isto é função direta da resistividade elétrica apresentada pela carga e das características elétricas do forno, levando em conta que para cada tap, existe uma corrente ideal, que por sua vez corresponde a uma potência útil ótima.

Ocorre que geralmente, os fornos já vêm com características elétricas invariáveis, que provém da fabricação, sendo assim, durante a redução procura-se modificar a resistividade da carga, que por sua vez é função da resistividade elétrica de seus componentes, granulometria e volume de escória. A resistividade também varia segundo a granulometria dos componentes e o volume de escória. A resistividade é diretamente proporcional ao volume de escória e inversamente proporcional a granulometria dos seus componentes.

A situação ideal então em relação a operação de fornos elétricos é aquela em que se opere com a posição dos eletrodos fixa, e carga a mais resistiva possível ( o aumento da resistividade se dá ou pela diminuição da granulometria da carga ou pelo aumento do volume de escória), porém observando que ao se aumentar o volume de escória se

aumenta também o consumo de energia. A maior resistividade elétrica do redutor com o eletrodo fixo (num mesmo tap e corrente), permite a utilização de um menor volume de escória, diminuindo assim o consumo de energia por tonelada de liga.

Uma carga de resistividade elevada, se utilizada em conjunto com um mesmo volume de granulometria e escória, e um tap de tensão mais alta, acarretará diminuição das perdas elétricas e aumentará a produtividade do forno.

Deve-se dizer que as perdas que ocorrem nos fornos elétricos, se devem essencialmente mais a tensão que a corrente.

**Composição química:** o carvão de babaçu é muito semelhante quimicamente ao carvão vegetal de eucalipto, tanto em termos de porcentagem média de carbono fixo, quanto em material volátil, idem quanto ao teor de cinzas (do peso total da escória 2% para o carvão de eucalipto e 4% para o carvão de babaçu). Isto permite a utilização de ambos sem interferências significativas nos processos metalúrgicos.

O carvão de eucalipto, que apresenta um teor maior de CaO e MgO (oriundos das cinzas), quando relacionado a um mesmo peso específico de escória, irá corresponder a um menor consumo de energia elétrica. Nos experimentos conduzidos por de Matos, de Castro e Gonçalves (op.cit.), um peso específico de escória de 515 kg, permitiu a diminuição de consumo específico de energia em aproximadamente 8 kWh/t de gusa, equivalente a 0,4% do total de energia elétrica consumida.

Já o carvão de babaçu, que apresenta uma alta quantidade de SiO<sub>2</sub> na cinza, relacionado a um mesmo peso específico e composição de escória, permite a diminuição em 10% do peso em quartzo. Porém não existe certeza quanto a diminuição ou aumento do consumo específico de carbono ou de energia.

Como conclusão pode-se dizer que o carvão de babaçu como redutor na fabricação do gusa não apresenta restrições nem do ponto de vista químico (teores baixos de fósforo e enxofre) nem do operacional.

#### **4.4.6. O COCO DE BABAÇU COMO ALTERNATIVO NA SIDERURGIA**

Neste tópico tratar-se-á do emprego do carvão de babaçu em substituição parcial ou total ao coque fino. Estes estudos se iniciaram por volta de 1975 na USIMINAS, a pedido da SIDERBRÁS (Assi, et al., 1982), e mostraram num primeiro momento que não haviam modificações substanciais nos parâmetros de sinterização estudados, tanto na substituição parcial quanto total do coque fino. Porém, registrou-se um aumento de produtividade e de consumo de combustível. O sinter mostrou resistência a frio constante e degradação por redução menor para níveis mais elevados de carvão de babaçu.

Posteriormente estes estudos passaram a abordar a possibilidade do emprego de briquetes de carvão de babaçu (com resistência a quente e a frio), sendo o aglutinante a dextrina.

Estes briquetes seriam empregados em cubilôs e altos-fornos de pequeno porte. Posteriormente trocou-se a dextrina por piche de baixo ponto de amolecimento, pois a dextrina só mantinha a aglutinação em temperaturas baixas, se volatizando com a subida de temperatura. A fim de se impermeabilizar o briquete foram empregadas emulsões asfálticas, além de se estudar o emprego de um aglutinante alternativo a dextrina, no caso o melaço.



O emprego do piche mostrou que o briquete apresenta uma resistência menor à compressão que a dextrina, já o emprego de emulsões asfálticas em nada alterou a resistência à compressão.

Tanto o piche quanto o melaço e a dextrina, conferem ao briquete resistência à quente semelhante.

Quanto a impermeabilização dos briquetes, as emulsões asfálticas diminuíram consideravelmente a absorção d'água, bem como o piche, todavia o emprego de piche e melaço impermeabiliza a amostra quase totalmente.

O carvão de babaçu apresenta um teor baixo de enxofre, cerca de 0,1%, o que permite sua aplicação na forma de briquete, na produção de ferro fundido em forno cubilô. Na produção de ferro fundido se procura diminuir ao máximo a presença de enxofre, o que muitas vezes só é conseguido com gastos elevados. Procura-se então trabalhar com carvão de teor de enxofre inferior a 1%, então sob esta ótica o carvão de babaçu é vantajoso para a produção de ferro fundido.

Em se tratando de forno cubilô, este pode ser operado somente com briquetes de carvão de babaçu com piche como aglutinante, todavia ocorre um aumento do consumo de combustível de 29%.

Em nível de conclusão pode-se dizer que o carvão de babaçu na forma de briquetes que usam como aglomerante uma mistura de dextrina e piche, substituem bem o coque fino na sinterização. Estes briquetes tem boa resistência mecânica à frio e a temperaturas elevadas.

O emprego dos briquetes em fornos cubilô com medida nominal de 600 mm de diâmetro, em substituição parcial ao coque eleva a produção diária de ferro fundido e o consumo de combustível. Segundo o estudo conduzido por Assi et al., (op.cit.), o

aumento de produção seria de 19% e o de combustível de 11,7%. Com a substituição do coque por briquetes, o aumento de combustível é de 29,5% contudo ocorre a diminuição da produção diária em 27,3%.

O ferro fundido produzido com estes briquetes é de excelente qualidade, possuindo um teor de enxofre de menos de 0,02%.

#### 4.4.6.1. O RENDIMENTO DO CARVÃO DE BABAÇU

O rendimento do carvão de babaçu varia segundo o processo de carbonização que sofre, se em forno tipo "caieira" rústica ou melhorada ou se em forno de alvenaria. Para estes três tipos de fornos a produção de carvão da partir das cascas (endocarpo) de babaçu é a seguinte (Tabela 4.9):

Tabela 4.9 - Rendimento de carvão de cascas de babaçu segundo o tipo de forno

| Tipo de Forno          | Cascas Secas/Ano (t) | Carvão/Dia por Forno (kg) | Carvão/Ano por Forno (t) | Carvão/Ano Total (1000t) |
|------------------------|----------------------|---------------------------|--------------------------|--------------------------|
| Caieira Rústica (1)    | 1.667.000            | 20                        | 5 (1)                    | 300                      |
| Caieira Melhorada (2)  | 1.200.000            | 100                       | 25 (2)                   | 300                      |
| Forno de Alvenaria (3) | 1.200.000            | 1.120                     | 403 (3)                  | 300                      |

Fonte: CVRD (1981)<sup>5</sup>

(1) produção 250 dias/ar o - rendimento 18%

(2) produção 250 dias/ar o - rendimento 25%

(3) produção 360 dias/ar o - rendimento 25%

Tabela 4.10 - Pessoal e custos dos fornos de produção de carvão de babaçu

| Tipo de Forno      | nº Total de Fornos | nº Total de Pessoas | Custo Unitário/Forno (CR\$) | Custo Total (CR\$) |
|--------------------|--------------------|---------------------|-----------------------------|--------------------|
| Caieira Simples    | 60.000             | 15.000              | 100                         | 6.000              |
| Caieira Melhorada  | 12.000             | 6.000               | 1.000                       | 12.000             |
| Forno de Alvenaria | 745                | 1.200               | 60.000                      | 44.700             |

Fonte: CVRD (1981)

Não foi possível obter até o presente momento informações mais atualizadas a respeito de carvão de babaçu. Contudo as informações apresentadas servem para ilustrar o rendimento do carvão de babaçu.

<sup>5</sup> Último ano referenciado na literatura a respeito de carvão de babaçu.

#### **4.4.6.2. VIABILIDADE DO EMPREGO DE CARVÃO DE BABAÇU EM ELETROMETALURGIA PARA EMPREGO NO PROJETO CARAJÁS**

Na região da Estrada de Ferro Carajás-São Luís, existe quantidade suficiente de babaçu (endocarpo) capaz de produzir 453 mil t de carvão, redutor suficiente para produzir 860 mil t de ferro-gusa/ano em fornos elétricos. Na realidade, o objetivo é se manter com base em carvão de babaçu a produção de 480 mil t de gusa/ano.

No início da década de oitenta a CVRD realizou estudos a respeito do emprego de carvão de babaçu na região do Projeto Carajás. O carvão empregado era oriundo de fornos rústicos, ditos “caieiras”, com teor de cinzas entre 6% e 7% (normalmente este teor é de 4,5%) e o minério de ferro era fornecido pela própria CVRD, na faixa granulométrica de 6 a 25 mm (CVRD, 1981).

Estes testes foram conduzidos em forno piloto trifásico, de 250 kVa, de operação convencional. O regime de trabalho é atingido após doze horas, sendo que durante este período são monitoradas as temperaturas de corrida, da carcaça e da abóbada, mais a temperatura e composição dos gases, além de serem feitas análises de gusa e da escória.

Concomitantemente foi definida a composição do gusa, peso específico e composição da escória. Os experimentos foram conduzidos se produzindo gusa empregando carvão de babaçu e de eucalipto, para fins de comparação.

As conclusões obtidas são embasadas nas propriedades do carvão de babaçu quando comparadas as do carvão de eucalipto, todavia deve-se ter em mente que as

conclusões não consideram propriedades físico-químicas dos carvões e nem o reflexo destas no produto e nem na operação do forno. Foram estudadas a reatividade, a composição química e a resistividade elétrica.

No que diz respeito a reatividade, o carvão de babaçu aumentou em 7 kg/t o consumo de carbono. Contudo, deve ser evitada qualquer comparação embasada neste único ponto.

Quanto a resistividade elétrica, o carvão de babaçu mostrou ser mais reativo que o de eucalipto. Assim, para um mesmo peso específico de escória para o eucalipto e o babaçu, uma quantidade definida de gusa e um tap de tensão mais alto, o consumo específico de energia cai. Em princípio, isto se constitui numa vantagem do carvão de babaçu sobre o de eucalipto.

Tanto o carvão de babaçu quanto o de eucalipto, apresentam teores semelhantes de cinzas, bem como porcentagem média de carbono fixo, material volátil e umidade. A escória apresenta 2% de peso em cinzas para o babaçu e 4% para o eucalipto.

Como ponto principal, fica destacado que o carvão de babaçu não apresenta qualquer restrição ao seu emprego do ponto de vista operacional. Além do mais, o emprego do carvão de babaçu permitiu a operação com um volume menor de escória, resultando na redução do consumo específico de energia em 148 kWh/t de gusa.

#### **4.4.6.3. COCOS ALTERNATIVOS AO BABAÇU**

Além do babaçu, também podem ser carbonizados outros cocos, alguns com mais endorcapo que o babaçu, no caso o indaiá (*Attaleas* sp.), ou a macaúba (*Acromina*

*sclerocarpa* e *Acromina totai*) cujo coque é mais resistente que o babaçu. Além destas algumas outras foram estudadas, todas porém sem a profundidade do babaçu, estas são:

Urucuri (*Attalea excelsa*, Mart.);  
 Piaçava da Bahia (*Attalea funifera*, Mart.);  
 Piaçava do Norte (*Orbignia-Eideri*, Drude);  
 Indaiá-Assu (*Attalea deiffeira*, Barb. Rodr.);  
 Tucum (*Astrocaryum vulgare*, Mart.);  
 Caiauê ou Dendê do Amazonas (*Elaeis melanococo*, Gaerth);  
 Tucumã ou Tucumã-Assu (*Astrocaryum princips*, Barb. Rodr.);  
 Inajá ou Anajá (*Maximiliana regia*, Mart.);  
 Buriti (*Mauritia vinifera*, Mart.);  
 Pindobaçu (*Attalea compacta*).

#### 4.4.6.3.1. ESTUDOS DE CARBONIZAÇÃO DE OUTROS COCOS

Estes estudos trataram da análise dos produtos da carbonização dos frutos do Tucumã, Inajá, Indaiá, Dendê (endocarpo) e Macaúba, comparando estes ao carvão de babaçu. Utilizou-se ainda o carvão de eucalipto como padrão de comparação em relação a todos, obtidos de eucalipto com cinco anos de idade.

A condução dos estudos, foi feita por Bataus et al., (s.d.). Sendo feito o processo de carbonização em retorta, na ausência de ar e com recuperação de subprodutos. A temperatura máxima do projeto variou de 450 a 470° C, obtida num período de três horas, numa taxa de aquecimento de 2,4° C/min.

O carvão obtido foi pesado, determinou-se o seu rendimento gravimétrico percentual<sup>6</sup>, em relação a base seca.

A pesagem do alcatrão insolúvel e do líquido pirolenhoso, foi obtida através da filtragem do material condensado. Em seguida, era determinado o rendimento do líquido pirolenhoso, do alcatrão insolúvel, e por diferença a proporção dos gases em base seca.

Os resultados demonstraram que o rendimento gravimétrico percentual, ficou entre 26,7% e 28,19%, sendo os maiores apresentados pelo babaçu e indaiá.

Na determinação do peso dos frutos foram considerados a amêndoa e o mesocarpo (exceto o dênde onde se utilizou apenas o endocarpo). Estes por sua vez, se volatizam quando ocorre a destilação seca, e se transformam em gases condensáveis e não condensáveis, talvez daí se explique o rendimento gravimétrico inferior a 30%.

A macaúba que tem uma alta porcentagem de mesocarpo oleaginoso e o babaçu de mesocarpo amiláceo, geraram uma alta quantidade de líquido pirolenhoso.

Todos as espécies apresentaram elevado teor de alcatrão, sendo o valor mais alto o da indaiá, de 22,19%. Porém, grande parte desse alcatrão se deve a presença de amêndoas durante o processo de carbonização.

A presença percentual de voláteis, variou de 10,47% para a macaúba a 19,19% para o babaçu, que são inferiores ao carvão de eucalipto. Porém, quanto a quantidade de cinzas, estas são, em média, sete vezes maiores que aquela normalmente presente no carvão de eucalipto.

Outro aspecto importante abordado pelo estudo, foi o da quantidade de carbono fixo, pois este guarda relação direta com o poder calorífico.

Todas as espécies (exceto o babaçu) apresentaram teor de carbono fixo elevado, variando de 82,23% a 86,10%. Este último valor corresponde ao dendê, e resulta num poder calorífico de 8337,30 cal/g. O poder calorífico é determinado pela quantidade e composição dos voláteis.

Por sua vez o teor de carbono fixo e o poder calorífico não se comportam em relação diretamente proporcional quando os voláteis ocorrem em porcentagem elevada, porém sem apresentar uma composição variada.

A densidade aparente do carvão obtido no experimento variou até em quatro vezes em relação a do carvão de eucalipto, de valor médio  $0,5 \text{ g/cm}^3$ . A variação de densidade ficou entre  $0,86 \text{ g/cm}^3$  e  $1,29 \text{ g/cm}^3$ , com exceção da macaúba cujo valor ficou fora desta faixa.

A nível de conclusão, tem-se que existem espécies vegetais capazes de fornecer carvão vegetal de qualidade igual ou superior ao de babaçu. Porém o teor de cinzas, pode inviabilizar algumas aplicações industriais desse tipo de carvão vegetal.

Além disso, também é muito importante, do ponto de vista de propriedade a elevada densidade aparente do carvão é extremamente relevante quando considera-se o transporte do carvão a grandes distâncias.

Os resultados apresentados pela macaúba, como baixo rendimento 26,7%, maior quantidade de cinzas 6,38% e menor densidade  $0,26 \text{ g/cm}^3$ , além da baixa ocorrência de óleos vegetais, não o adequam a carbonização integral do fruto.

#### **4.4.7. CRÍTICAS AO EMPREGO DO CARVÃO DE BABAÇU**

i) a quantidade de enxofre presente no carvão de babaçu que lhe permite ser um carvão vegetal de qualidade, embora sua quantidade de cinzas seja um tanto superior a dos outros tipos de carvão, e a quantidade de fósforo presente mereça atenção.

ii) o emprego do carvão de babaçu em altos-fornos na forma de briquetes deve ser evitado, pois em altas temperaturas o aglutinante tende a se volatilizar, e o briquete se desfaz por não resistir a pressão da carga.

#### **4.4.8. OS CUSTOS DO CARVÃO DE BABAÇU**

Da mesma forma que no item 4.4.6.1., foram utilizadas as últimas referências encontradas a respeito de carvão de babaçu. Contudo sua falta de atualização não desmerece a abordagem do tópico.

Entre 1981 e 1982 a CVRD empreendeu estudos visando a avaliação do potencial do carvão de babaçu, tradicionalmente empregado no Maranhão, a servir como insumo à eletro-metalurgia do PGC.

Assim parte destes estudos abordou a questão dos custos de produção, transporte e venda. No caso à época quem comprava carvão de babaçu era o estado de Minas Gerais e alguns países europeus como a Suécia.

Pelo apanhado do estudo pode-se ver que a nível de produção local o mercado de babaçu era bastante informal, o que era indicado pela falta de qualquer limite na remuneração dos produtores.

Em 1980 as empresas costumavam comprar babaçu em latas de 25 litros, equivalente a 16 kg, pagando por estas CR\$ 9,00, o que representava CR\$ 562,5/t.

No local de coleta do babaçu o preço era de CR\$ 5,00 por lata de 18 litros, equivalentes a 10,5 kg.

O preço por tonelada era de CR\$ 476/t. O preço para exportação FOB era de US\$ 200/t.



A tonelada de carvão de babaçu era vendida a CR\$ 8.700 no mercado interno e para exportação CR\$ 11.000 FOB.

Por sua vez o custo do carvão de babaçu para venda em Minas Gerais compunha-se das seguintes parcelas:

|                                    |                   |
|------------------------------------|-------------------|
| custo do carvão no Maranhão        | CR\$ 2.800/t      |
| frete                              | CR\$ 2.500/t      |
| sacaria                            | CR\$ 12,00/t      |
| 25% administração e intermediários | CR\$700,00/t      |
| 3% perdas                          | CR\$ 84,00/t      |
| Total                              | <u>CR\$ 6.096</u> |

Fonte: CVRD (1981)

O custo de produção deste carvão em fornos de alvenaria era de:

|   |                  |
|---|------------------|
| <b>matéria-prima:</b>                                   |                  |
| 4 t de cascas   | CR\$ 2.400       |
| <b>carbonização (tarefa):</b>                           |                  |
| forneiro e auxiliar                                     | CR\$ 120,00      |
| depreciação do forno (720 t/3 anos)                     | CR\$ 100,00      |
| reparos -   | CR\$ 10,00       |
| <b>transporte:</b>                                      |                  |
| transporte de cascas (até 5 km do forno)                | CR\$ 120,00      |
| ensacamento e carga (250 sacos/caminhão)                | CR\$ 50,00       |
| transporte até BH (2.500t)                              | CR\$ 2.500       |
| <b>custo de sacaria:</b>                                |                  |
| transportes indiretos (pessoal, alimentação, materiais) | CR\$10,00        |
| administração (20%)                                     | CR\$ 576,00      |
| juros (5%)  | CR\$144,00       |
| Total   | <u>CR\$6.120</u> |

Fonte: CVRD (1981)

Já em relação ao custo do carvão de babaçu e o carvão de mata mineiro, levando-se em conta o teor de carbono fixo e o custo por usina, os custos eram os seguintes (Tabela 4.11):

Tabela 4.11 - Custo do carvão de babaçu segundo teor de carbono fixo e custo por usina

| Tipo de Carvão           | Carbono Fixo (%) | Custo/Usina (CR\$/t) | Carbono Fixo (CR\$/t) |
|--------------------------|------------------|----------------------|-----------------------|
| Carvão de Babaçu         | 83               | 6.096                | 7.345                 |
| Carvão de Mata Nativa-MG | 70               | 6.200                | 8.857                 |

Fonte: CVRD (1981)

Os custos do coco, incluindo todas as suas partes, podem ser vistos na Tabela

4.12 :

Tabela 4.12 - Custos do coco segundo seus componentes e derivados

| Componentes e Derivados                                 | CR\$/t | Frete até BH CR\$/t | Total CR\$/t |
|---|--------|---------------------|--------------|
| Coco Inteiro  | 2.100  | 2.200               | 4.300        |
| Coco Pelado (sem Epicarpo e Mesocarpo, mas com amêndoa) | 2.100  | 2.200               | 4.300        |
| Endocarpo (Quebra Mecânica), sem Epicarpo e Mesocarpo   | 2.100  | 2.200               | 4.300        |
| Epicarpo Fibroso, Inclusive Frete (ensacado) (1)        | 2.100  | 2.200               | 6.200        |
| Cascas de Coco (Quebra Manual)                          | 2.100  | 2.200               | 4.300        |
| Carvão de Babaçu (2)                                    | 3.300  | 2.200               | 5.500        |

Fonte: CVRD (1981)

(1) incluindo CR\$ 25,00 do saco. Um saco sem prensagem pesa aproximadamente 25 kg

(2) produzido com cascas de quebra manual (endocarpo sem amêndoa) (granulometria 1/2" a 1 1/2"), ou com endocarpo de quebra mecânica em forno metálico rotativo (granulometria 1/8" a 3/8")

#### 4.5. COMENTÁRIOS FINAIS

- a alternativa de centrais produtoras de aço ao longo das cidades de Marabá, Açailândia e Santa Inês permite a incorporação do investimento em reflorestamento (custo da madeira reflorestada). No fundo a alternativa comporta a possibilidade de se explorar recursos naturais sob forma sustentável.
- com base na introdução de centrais produtoras de aço, seria possível a criação de 48 postos de trabalho para cada 1000 toneladas de aço produzidas anualmente. O reflorestamento seria o responsável pela maioria dos postos de trabalho totalizando 35, seguido de 10 no carvoejamento, 2 na operação do forno e 1 na aciaria.

- comparada à alternativa de siderurgia a coque, a alternativa integrada se apresenta como mais viável, pois dentre as opções de central integrada a alternativa mais cara é de US\$ 360/t.ano, contra a menor da siderurgia a coque US\$ 460/t.ano, que é 28% mais cara que a alternativa mais cara baseada em carvão vegetal.
- ainda se considerando o reflorestamento, esta proposta permite o emprego de 39 pessoas na atividade de reflorestamento, para cada 1000 t.ano de gusa, utilizando como insumo carvão vegetal 50% de floresta plantada.
- ainda se considerando 1000 t.ano de gusa produzidas, o transporte e a exploração florestal da lenha responderiam por 10,85 empregos.
- outra alternativa passível de emprego capaz de diminuir o ritmo de exploração das matas nativas seria a instalação de carvoarias junto às serrarias bastante presentes na região, ou então a instalação destas no interior de fazendas. Não obstante já ocorra produção de carvão vegetal dentro de fazendas, normalmente essa produção se dá sem a permissão do proprietário, o que comumente acarreta problemas sociais.
- a opção de se manter a produção sidero-metalúrgica baseada em carvão vegetal deve ser seriamente considerada do ponto de vista social, pois inúmeras famílias subsistem dessa atividade, tendo na maioria das vezes abandonado a prática da agricultura para dedicar-se inteiramente ao carvoejamento. Normalmente toda a família participa da produção de carvão, que não raras vezes é de qualidade inferior ao normalmente empregado como termo-redutor. Tal se deve em parte pela falta de tradição-prática carvoeira e em sua maior parte à pressa em atender as demandas impostas no menor prazo possível, não permitindo à madeira a carbonização adequada até se tornar carvão. Comumente o prazo de carvoejamento dura três dias, contudo os pequenos produtores dificilmente cumprem este prazo, retirando o

material parcialmente carbonizado e carregamento novamente o forno. Nesse interim todos os compostos despreendidos pela madeira em carbonização, alguns muito tóxicos como o metanol, são respirados pelos carvoejadores.

- a alternativa exposta no capítulo anterior de melhoria dos atuais fornos “rabourente” passando-os para fornos de superfície ou de superfície com câmara externa deve ser estudada sob a ótica de formação de uma cooperativa, tal que permitisse a estruturação suficiente (mais recursos) capaz de tornar realidade estes fornos. Mais ainda, tais fornos permitem a instalação de mecanismos recuperadores de alcatrão, que poderia vir a se constituir em uma fonte de renda adicional aos carvoejadores.
- o gás natural como alternativa energética à produção integrada na região do Projeto Carajás, representaria uma forma de aproveitamento imediato do gás de Urucu. Todavia, embora esta jazida não comporte isoladamente as necessidades energéticas de Carajás, parte do gás necessário poderia ser trazido da Colômbia ou da Venezuela que detém a maioria das reservas de gás da América do Sul. A princípio o transporte se daria por via fluvial.
- o transporte por via fluvial representa a alternativa mais viável à Região Amazônica, descontadas é claro questões sazonais que se refletem na espessura da lâmina d’água. A construção de um gasoduto deve sempre ser colocada como última alternativa a ser tratada, pois a Amazônia é uma região extremamente inóspita a qualquer ação de engenharia.
- não obstante, a alternativa-gás não deve ser considerada como a única a se empregar na totalidade da produção integrada. A hipótese de um aumento na produção de aço tal que não permitisse às jazidas fornecedoras de gás assim o procederem

justamente por não comportarem a demanda não deve ser descartada. Aí pensar-se-ia em coque, eletricidade ou carvão vegetal para a manutenção da produção.

- grandes siderúrgicas integradas como a ACESITA já substituíram quase que totalmente o carvão vegetal por coque mineral. Esta substituição pode estar relacionada a vários fatores: **a)** o reconhecimento do “gargalo” no abastecimento de carvão vegetal, o que não ocorre com o coque importado. O “gargalo” seria a possibilidade de em um determinado ponto no tempo a demanda por carvão vegetal não poder ser atendida, em vista do volume de mata nativa a ser explorado e da quantidade de hectares necessários ao reflorestamento; **b)** o coque mineral permite um melhor controle de suas propriedades físico-químicas e técnicas em relação ao carvão vegetal florestal, quando de sua aquisição; **c)** a atual taxa de exploração as reservas mundiais de carvão mineral duram entre 250 e 300 anos; **d)** os mecanismos de compra e rotas de acesso ao carvão mineral se encontram estabelecidos com segurança, sem falar no preço que é atrativo; **e)** as restrições ambientais inerentes à exploração florestal.
- o carvão de babaçu apresenta maior resistividade que o carvão vegetal florestal, o que permite que se use uma tensão maior para um mesmo volume de escória no alto-forno. Ao final tem-se uma economia de 148 kWh/t.
- em relação ao carvão vegetal florestal, o carvão de babaçu apresenta um maior teor médio de cinzas, i.e., 6,14% contra 3,16%.
- os fornos empregados no carvoejamento do babaçu normalmente têm 5 m de diâmetro, o que comporta 20 t de coco, sendo o rendimento do processo 28%. O tempo de carbonização é de 5 dias, excepcionalmente diminuído para 3 dias se

empregando resfriamento forçado. Um forno pode produzir de 1,0 a 1,2 t/dia de carvão.

- no que se refere ao potencial do carvão de babaçu em atender as demandas energéticas do Projeto Grande Carajás, deve-se inicialmente proceder à quantificação da tonelagem em endocarpo e posterior tonelagem de carvão passível de ser obtida deste. Segundo o levantamento empreendido pela CVRD em 1981, as regiões adjacentes ao PGC apresentavam o seguinte potencial:

| <b>Região</b>                                       | <b>Endoc.<br/>(t/ano)</b> | <b>Carvão<br/>(t/ano)</b> |
|---|---------------------------|---------------------------|
| Bacia Araguaia-Tocantins                            | 669.700                   | 187.520                   |
| Região EFCarajás                                    | 691.800                   | 193.700                   |
| Convergência para São Luis<br>(principais estradas) | 1.233.670                 | 345.430                   |
| EF Teresina-São Luis                                | 838.100                   | 234.670                   |
| Piauí   | 147.470                   | 41.290                    |
| <b>Total</b>  | <b>1.002.610</b>          | <b>(carvão t/ano)</b>     |

A estimativa apenas do Estado do Maranhão (1981) era de 10 milhões t/coco/ano, capazes de produzir 1.640.000 t carvão/ano.

Tomando-se as seguintes premissas de que um alto-forno tipo ACESITA gasta 680 kg de carvão de babaçu/tonelada de gusa produzido, e que um alto-forno elétrico gasta 400 kg de carvão de babaçu/tonelada de gusa produzido, contra 3,78 m<sup>3</sup> de carvão vegetal florestal (945 kg) e que a partir de 1992 a previsão de produção anual de gusa em Carajás é de 775 mil t/ano, ver-se-á que apenas o potencial do Maranhão é capaz de suprir 0,31% da previsão (alto-forno tipo ACESITA) ou então 0,52% (alto-forno elétrico). Para se suprir a produção anual prevista seriam necessárias 527 milhões t de carvão de babaçu (em forno tipo ACESITA) ou 310 milhões t de carvão de babaçu (em forno elétrico). A estimativa de carvão vegetal florestal a ser consumido no atendimento

da produção de 775mil t/ano de gusa é de 2,7 a 3 milhões m<sup>3</sup>/ano (entre 675 a 750 milhões t/ano). Como se vê, considerando-se esses números a participação de carvão de babaçu anualmente como insumo à siderurgia seria inferior a 1%. Mesmo o volume de carvão vegetal florestal nos remete à incapacidade de atendimento da demanda.

O próximo capítulo tratará dos problemas ambientais decorrentes da produção do gusa, que se iniciam na fase de extração da lenha para produção de carvão vegetal, seguindo pela fase de carvoejamento até a produção final de gusa.

---

## **CAPÍTULO V: O IMPACTO AMBIENTAL DA PRODUÇÃO DE FERRO-GUSA NA AMAZÔNIA**

---

### **5.0. INTRODUÇÃO**

A face mais visível dos impactos ambientais ocasionados pela produção de ferro-gusa é, sem dúvida, a do desmatamento provocado para a obtenção de lenha que será convertida em carvão vegetal. Porém existem outros problemas ambientais igualmente graves como a perda de fertilidade do solo, que está diretamente relacionada ao problema de desmatamento e a poluição atmosférica, por sua vez originada pelo processo de conversão da lenha em carvão vegetal e a emissão de particulados e fluidos derivados da operação dos projetos sidero-metalúrgicos.

Segundo Valverde (1989) boa parte dos problemas relacionados à instalação de projetos sidero-metalúrgicos, podem advir de sua localização imprópria, ou quanto a inadequabilidade do sítio (condições do terreno, proximidade a centros populacionais).

O sítio inadequado pode resultar em:

a) poluição ambiental, dos cursos d'água, erosão, etc; que por sua vez resultarão em degradação ambiental;

b) valoração irreal das propriedades fundiárias;

c) supervalorização de obras de adequação de terreno.

Já a localização imprópria pode contribuir para:

d) elevar os custos de produção;



e) que as obras de infra-estrutura (adutora de água, malha de transporte) sejam construídas com dinheiro público e não do interessado no projeto.

A estes problemas pode-se acrescentar também o da água, já que para a produção de 1 t de gusa são necessários 21.613,45 dm<sup>3</sup> de água. Se os projetos estão localizados próximos a rios caudalosos - como o Tocantins - não há problema, mas no Maranhão, onde o grau de aridez é muito maior que no Estado do Pará, certamente o rio Gurupi não suportará isoladamente o elevado consumo de água. Talvez a solução esteja na construção de uma adutora (paga pelos interessados é claro).

Os problemas ambientais se desenrolam ao longo das diversas etapas de produção do carvão vegetal. Antes do estudo dos problemas propriamente ditos, torna-se oportuno a apresentação, de forma resumida, da dinâmica de produção do carvão vegetal. Após isto parte-se para a particularização dos problemas ambientais, já se tendo idéia do contexto dinâmico em que estes se inserem.

Primeiramente a lenha é cortada na forma de tronco e este é desgalhado e cortado em pedaços menores de cerca de 1m. Assim feito a lenha passa a ser amontoada (embandeirada) ou enleirada, i.e., colocada ao longo da mata para secagem.

A secagem dura em média 45 dias, e pode ser feita no local de corte ou no próprio pátio de carbonização. Normalmente prefere-se deixar que a lenha seque no campo, transportando-a somente após a secagem para o pátio de carbonização. O transporte pode ser feito via animal de tração, trator, carreta ou caminhão.

O período de carbonização fica em torno de três dias, mais três dias de resfriamento do forno, antes da retirada do carvão.

Normalmente uma bateria de produtor independente é cuidada por um mestre-carvoeiro, que administra a produção de dez fornos tipo “rabo-quente”, mais a carga, reboque, carvoejamento, barrela e descarga.

Assim sucintamente o carvoejamento e sua duração se decompõem em:

- corte da lenha 5 m<sup>3</sup>/h/d;
- secagem 45 dias;
- transporte: animais 200 m<sup>3</sup>/mês, carro-de-boi 300 m<sup>3</sup>/mês, trator ou caminhão 90 m<sup>3</sup>/mês (dependendo do tamanho e distância a ser percorrida);
- construção de um forno 01 dia;
- carga e descarga do forno 01 dia;
- carbonização da lenha 3 dias;
- resfriamento 3 dias;
- ciclo completo aproximado 7 dias.

## **5.1. A POLUIÇÃO ATMOSFÉRICA**

A poluição na região do Projeto Carajás, pode estar relacionado a dois fatores: o primeiro diz respeito ao relevo, e o segundo ao processo de conversão de lenha em carvão vegetal e as posteriores emissões dos projetos sidero-metalúrgicos. Na realidade, a poluição atmosférica se dá pela conjunção destes fatores associados ao microclima local.

A cidade de Parauapebas instalada no sopé da Serra dos Carajás como barreira ao avanço de posseiros à área de jurisdição da CVRD, possui lá instalada uma usina de

produção de ferro-ligas. Ocorre que durante o inverno as massas frias que chegam à região sofrem inversões. Como o ar úmido é mais pesado, este fica preso devido ao relevo da serra, sem se deslocar por vários dias. Com a operação da usina, esta massa de ar fria irá capturar os particulados e formar uma névoa escura sobre a região (Valverde, op. cit.).

Ab'Saber (1987) chama a atenção para a localização de Marabá, no interior de um vale. Devido a essa localização há a presença de uma bolha de calmaria climática que torna difícil a dispersão dos gases e particulados. Situação semelhante pode ser encontrada na cidade de Açailândia, que também sofre com a poluição só que, como está em local mais elevado, a dispersão se dá mais facilmente.

A queima de carvão vegetal é isenta de enxofre, porém a associação de particulados mais a redução da massa vegetal podem levar à destruição dos bolsões de castanheiras da região. A diminuição da massa vegetal, via desmatamento, e o possível envenenamento via particulados da massa restante, não permite a continuação da polinização da castanheira. Como se sabe a castanha é fonte de renda para muitos pequenos produtores e para grupos indígenas, sendo produto de peso na cesta de exportações do Estado do Pará.

Outro problema de poluição ambiental é a fumaça que se desprende dos fornos durante a conversão de lenha em carvão vegetal. Embora de natureza restrita, a fumaça associada ao CO e CO<sub>2</sub> ao ser lançada à atmosfera prejudica os operadores do forno, pois estes respiram o ar viciado. O problema é mais grave com os pequenos produtores que empenham toda a família no processo de operação e de produção de carvão vegetal, pois estes tendo de atender a demanda imposta pelos grandes consumidores, abrem o forno antes da combustão completa e decarregam-no, para em seguida carregá-lo e

reiniciar o processo de carvoejamento seguidas vezes, visando produzir a maior quantidade de carvão no menor tempo possível. Porém durante o ato de descarga do forno respiram toda a fumaça, que além de CO e CO<sub>2</sub> apresenta alcatrão.

## 5.2. O DESMATAMENTO

Ao se discutir a questão do desmatamento é preciso se ter em mente duas coisas. A primeira é : em que ambiência ocorre o desmatamento ou a devastação da floresta?, e a segunda é: o termo “desmatamento” é empregado de forma correta ?

No final da década de oitenta e início dos anos noventa, a SUDAM e o IBGE reuniram esforços para tentar definir aonde se dava a ocupação humana da Amazônia. Os resultados quanto à dimensão espacial da cobertura vegetal amazônica foram: que 64% da Amazônia Legal é ocupada por formações florestais, e os 36% restantes por cerrados e campos naturais.

A interface entre os cerrados e a floresta semi-úmida de transição é a região sede da ocupação humana mais recente e onde se localizam os projetos agropecuários. Esta parte é periférica à Amazônia Legal. A parte central amazônica, isto é, a Hiléia permanece pouco explorada.

Na mesma época dos estudos empreendidos pela SUDAM e IBGE, o INPE através do emprego de sensoriamento remoto, quantificou em 5,124% o percentual de alteração da cobertura vegetal da Amazônia Legal, se contados apenas os desmatamentos ocorridos a a partir de 1970. Se considerados àqueles ocorridos a partir de 1900 o percentual sobe para 7,01%.

A conclusão é que cerca de 90% da cobertura vegetal da Amazônia Legal permanece inalterada. A alteração da cobertura vegetal por estado na Amazônia Legal pode ser acompanhada nas Tabelas 5.1 a 5.3:

Tabela 5.1 - Alteração da cobertura vegetal da Amazônia Legal até 1988

| UF          | Área (km <sup>2</sup> )* | Alteração até 1988 (km <sup>2</sup> ) | UF (%) | R. Norte (%) | AML (%) | País (%) |
|-------------|--------------------------|---------------------------------------|--------|--------------|---------|----------|
| Acre        | 153 697,5                | 5 509,64                              | 3,585  | 0,154        | 0,112   | 0,065    |
| Amapá       | 142 358,5                | 842,25                                | 0,592  | 0,024        | 0,017   | 0,010    |
| Amazonas    | 1 567 954                | 12 836,58                             | 0,819  | 0,359        | 0,262   | 0,151    |
| Pará        | 1 246 833                | 88 741,45                             | 7,117  | 2,483        | 1,809   | 1,043    |
| Rondônia    | 238 379                  | 30 046,4                              | 12,604 | 0,841        | 0,612   | 0,353    |
| Roraima     | 225 017                  | 2 187,40                              | 0,972  | 0,061        | 0,045   | 0,026    |
| Total RN    | 3 574 239                | 140 638                               |        | 3,921        | 2,856   | 1,647    |
| TO-GO (AML) | 269 910,5                | 20 279,12                             | 7,513  |              | 0,413   | 0,238    |
| MA (AML)    | 260 233                  | 23 771,07                             | 9,135  |              | 0,484   | 0,279    |
| MT (AML)    | 802 403                  | 672 15,64                             | 8,377  |              | 1,370   | 0,790    |
| Total (AML) | 4 906 785                | 251 429,6                             |        |              | 5,124   | 2,954    |

Fonte: INPE (1988) apud Pandolfo (1994)

\* os dados da coluna área em km<sup>2</sup> foram arredondados

A Tabela 5.2 mostra a taxa anual de desmatamento para todos os estados da Amazônia Legal considerando-se o percentual por estado e no conjunto dos estados amazônicos. No destaque pode-se observar que os estados satélites ao Projeto Carajás (Maranhão e Pará) que a taxa de desmatamento vêm diminuindo ao longo dos quatro períodos de tempo pesquisados.

Tabela 5.2 - Taxa anual de desmatamento bruto 1978-1991

| ANOS           | 78/79              |      | 87/88/89           |       | 89/90              |      | 90/91              |      |
|----------------|--------------------|------|--------------------|-------|--------------------|------|--------------------|------|
|                | km <sup>2</sup> /a | (%)  | km <sup>2</sup> /a | (%)   | km <sup>2</sup> /a | (%)  | km <sup>2</sup> /a | (%)  |
| Acre           | 620                | 0,42 | 540                | 0,39  | 550                | 0,39 | 380                | 0,28 |
| Amapá          | 60                 | 0,06 | 130                | 0,12  | 250                | 0,23 | 410                | 0,37 |
| Amazonas       | 1510               | 0,10 | 1180               | 0,080 | 520                | 0,40 | 980                | 0,07 |
| Maranhão       | 2450               | 1,79 | 1420               | 1,30  | 1100               | 1,03 | 670                | 0,63 |
| Mato Grosso    | 5140               | 1,01 | 5960               | 1,31  | 4020               | 0,90 | 2840               | 0,63 |
| Pará           | 6990               | 0,62 | 5750               | 0,55  | 4890               | 0,47 | 3780               | 0,37 |
| Rondônia       | 2340               | 1,11 | 1430               | 0,78  | 1670               | 0,91 | 1110               | 0,62 |
| Roraima        | 290                | 0,18 | 630                | 0,39  | 150                | 0,10 | 420                | 0,27 |
| Tocantins      | 1650               | 2,97 | 730                | 2     | 580                | 1,61 | 440                | 1,26 |
| Amazônia Legal | 21130              | 0,54 | 17860              | 0,48  | 13810              | 0,37 | 11130              | 0,30 |

Fonte: INPE (1992) apud Pandolfo (1994)

Já a Tabela 5.3 que mostra a extensão do desmatamento bruto para a mesma região no mesmo intervalo de tempo abordado pela tabela anterior apresenta para os

Estados do Pará e Maranhão dois valores (asterisco), o primeiro trata do desmatamento ocorrido a partir de um momento zero de desmatamento, já o segundo incorpora valores de desmatamento anteriores.

O Pará principal sede do PGC mostra um aumento no desmatamento (km<sup>2</sup>) entre 1978 e 1988, continuando pelos intervalos seguintes até 1991. Tal coincide com o início de operação de Carajás, acompanhado da implantação das gusarias.

Todavia seria leviano afirmar apenas com base nesses números que o desmatamento cá demonstrado esteja relacionado ao fornecimento de insumos à produção de ferro-gusa.

Presumivelmente crê-se que o ritmo crescente de desmatamento se dê em áreas anteriormente desmatadas, mas incorporadas à projetos agropecuários que periodicamente sofrem ações de limpeza de terreno.

Tabela 5.3 - Extensão do desmatamento bruto (km<sup>2</sup>)

| UF/ANOS     | JAN/78 | ABRIL/88 | AGO/89 | AGO/90 | AGO/91 |
|-------------|--------|----------|--------|--------|--------|
| Acre        | 2500   | 8900     | 9800   | 10300  | 10700  |
| Amapá       | 200    | 800      | 1000   | 1300   | 1700   |
| Amazonas    | 1700   | 19700    | 21700  | 22200  | 23200  |
| Maranhão    | 6100   | 33000    | 34500  | 35600  | 36300  |
| *           | 63900  | 90800    | 92300  | 93400  | 94100  |
| Mato Grosso | 20000  | 71500    | 79600  | 83600  | 86500  |
| Pará        | 16600  | 91700    | 99500  | 104400 | 108200 |
| **          | 56400  | 131500   | 139300 | 144200 | 148000 |
| Rondônia    | 4200   | 30000    | 31800  | 33500  | 34600  |
| Roraima     | 100    | 2700     | 3600   | 3800   | 4200   |
| Tocantins   | 3200   | 21600    | 22300  | 22900  | 23400  |
| AML         | 54600  | 280000   | 303800 | 317600 | 328700 |
| ***         | 152200 | 377600   | 401400 | 415200 | 426400 |

Fonte: INPE (1992) apud Pandolfó (1994)

AML: Amazônia Legal

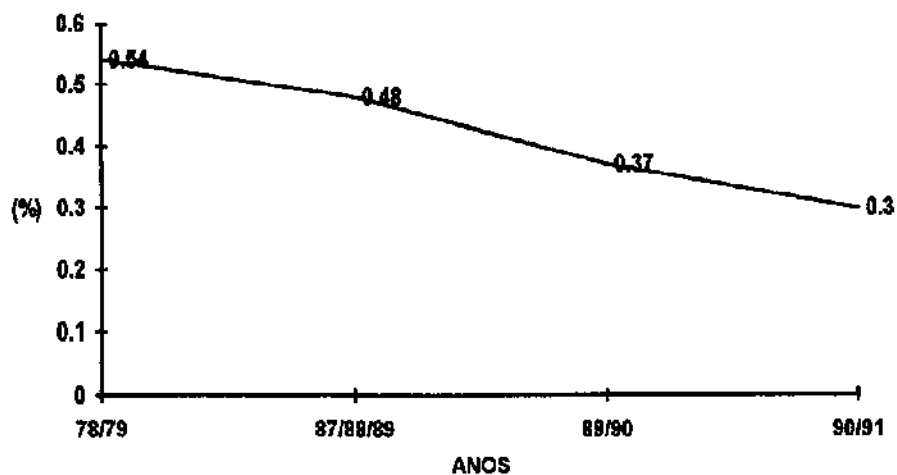
\* desmatamento antigo de 57.800 km<sup>2</sup>

\*\* desmatamento antigo de 39.800 km<sup>2</sup>

\*\*\* desmatamento antigo de 97.600 km<sup>2</sup>

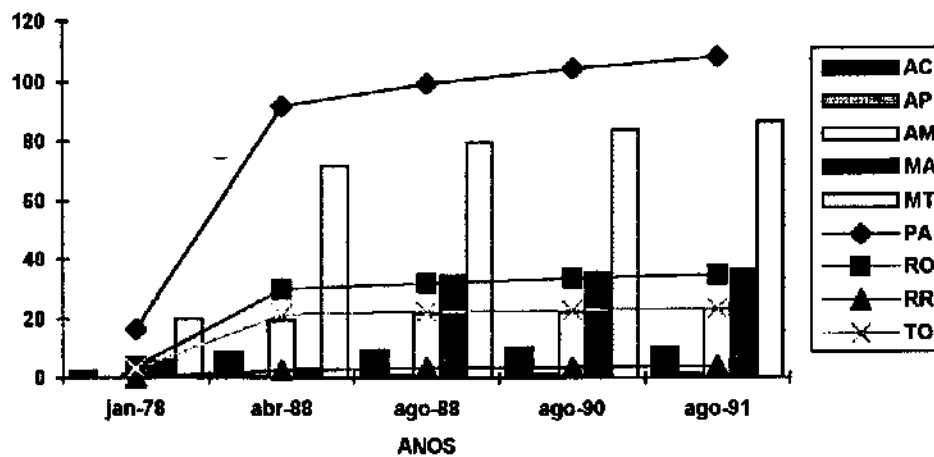
GRÁFICO 5.1

## TAXA ANUAL DE DESMATAMENTO BRUTO NA AMAZÔNIA LEGAL



Fonte: Pandolfo (1994)

GRÁFICO 5.2

EXTENSÃO DO DESMATAMENTO NA AMAZÔNIA LEGAL ( $10^3 \text{km}^2$ )

Fonte: Pandolfo (1994)

Mesmo a relação entre os projetos agropecuários - apontados como um dos principais causadores do desmatamento - e o desmatamento não é tão clara quanto parece. A maioria das queimadas que ocorrem em áreas destinadas à agricultura, se

Segundo Pandolfo (1994) o desmatamento está relacionado a três fatores principais: 1) o dispositivo da Lei 4.504; 2) os projetos oficiais de colonização agrícola e 3) a pecuária extensiva.

1) **O dispositivo da Lei nº 4.504 de 30/11/64**, que é o Estatuto da Terra, define o VTN, isto é o valor da terra nua. Terra nua é a que não sofreu ainda processo de alteração por mão humana e que conserva a sua cobertura original. A terra nua tem um preço muito baixo e no estado de terra nua sofre tributação progressiva. Isto faz com que o produtor a fim de ter sua taxa de impostos reduzida proceda ao desmatamento, que é visto como benfeitoria.

2) **Os projetos oficiais de colonização agrícola** se realizaram sobre porções de solos ácidos e pobres e sem qualquer auxílio do ponto de vista financeiro ou tecnológico. Num período de aproximadamente três anos, o solo se encontra exaurido e o colono sem poder continuar a trabalhar, segue para outro local para continuar a trabalhar. Lá promove a derrubada da mata e a queimada. A terra anterior onde estava assentado passa às mãos de outros, na forma de venda do título de propriedade.

3) **Os projetos de pecuária extensiva** que se instalam em áreas de domínio florestal promovem a retirada da cobertura original para a formação de pastos. Embora estes projetos tenham contado com incentivos de órgãos governamentais - como a SUDAM - , hoje em dia isto já não mais ocorre. Desde 1976 a SUDAM não concede incentivos a este tipo de projeto em áreas de floresta. Porém na prática a medida não tem surtido o efeito desejado, pois através de financiamentos privados ainda é possível a instalação deste tipo de projeto.

O problema do desmatamento relacionado ao avanço dos “projetos agropecuários”, ocorre tanto em suas áreas de operação quanto naquelas tomadas aos



posseiros e portanto "incorporadas". Embora o desmatamento sempre tenha ocorrido na região de Carajás, este se agravou principalmente devido a política governamental a partir de 1974 para os projetos agropecuários e devido a instalação das obras de infraestrutura para o funcionamento do PGC.

A política governamental de 1974 concedia financiamento aos projetos para a derrubada e queimada de mata objetivando a formação de pastagens e a construção de benfeitorias. Porém estes financiamentos apenas aceleraram o ritmo de depredação das florestas e a formação de grandes latifúndios.

As obras de infra-estrutura do PGC funcionaram como pólo atrator de migração. Esta tinha em vista o fornecimento de insumos para os projetos sidero-metalúrgicos ou a possibilidade de se agregar a eles como mão-de-obra assalariada. Obviamente o fornecimento de insumos implicava no desmatamento para a obtenção da lenha e transformação em carvão vegetal.

Ainda retomando a questão do relacionamento entre desmatamento e queimadas, ha de se reconhecer que a queima do terreno ainda é o método mais popular de limpeza de terreno, sendo ao menos na Região Amazônica, recomendado pelos especialistas agropecuários como Falesi (1992). No entanto este mesmos especialistas reconhecem o caráter polêmico dessas ações sobre a opinião pública e sobre o meio ambiente.

Deve-se levar em conta no questionamento das queimadas primeiramente a natureza dos solos da Amazônia, que em sua maioria são pobres do ponto de vista mineral, ou seja, 88% destes possuem baixa fertilidade química. Quanto à fertilidade os solos podem ser divididos em dois grandes grupos; o primeiro denominado de várzea caracterizado pela alta fertilidade química ocupa espacialmente uma área de apenas 6%, contra o segundo grupo os solos terra firme (solos distróficos ou álicos), que ocupam

81% da região, possuindo porém baixa fertilidade química. O restante é ocupado por solos hidromórficos não férteis (áreas baixas alagadiças) correspondendo a 7% e mais 6% de solos férteis. No total da Região Amazônica - quase 5 milhões de km<sup>2</sup>, cerca de 50 mil km<sup>2</sup> possuem baixa fertilidade (Falesi, 1986; Nascimento & Homa, 1987 apud Falesi op. cit.).

Com estas características de solo, a floresta presente - e assim via de regra as florestas tropicais úmidas, é produto não da fertilidade do solo, mais sim de fatores climáticos como a temperatura estável, umidade relativa do ar elevada, precipitações levadas e incidência de radiação solar.

A recomendação de se utilizar a queimada como método de limpeza de terreno também encontra eco no que se refere à capacidade das cinzas restantes fertilizarem o solo, que pode ser mantido fértil durante anos por meio de manejo adequado. Além disso, os outros meios de limpeza de terreno que são mecanizados normalmente compactam o solo num grau indesejado, destruindo ou revirando totalmente a camada superficial de solo que carrega os nutrientes orgânicos e minerais.

Todavia os terrenos preparados a partir de queimadas também decaem, ou seja sua produtividade diminui. Essa queda pode ser associada a vários fatores começando pelo tipo de manejo dado ao terreno, características naturais do solo, e no caso de pastagens o tipo e qualidade da gramínea escolhida.

A decadência do terreno entretanto está mais intimamente ligada à presença do fósforo (teor). Normalmente essa decadência ocorre entre o quinto e o décimo ano de atividade. Para se evitar tal situação é recomendável se manter o nível do fósforo acima de seu valor crítico de 5 ppm. O solo então ao assimilar o fósforo evitaria a queda na

produtividade do solo e não permitiria o aparecimento de plantas invasoras (Dias Filho & Serrão 1982 apud Falesi op. cit.).

Segundo Valverde (op. cit.) os métodos de desmatamento têm evoluído da seguinte forma: no passado seis lenhadores empregando foice e machado, derrubavam um hectare de mata em seis ou oito dias. Um homem se valendo do emprego da motosserra derruba um hectare em dois dias. Uma equipe de cinco homens operando à corrente derruba de 40 a 50 hectares num dia. O emprego de desfolhante por um único avião mata 100 hectares em meio dia. De todos estes métodos, o que causa mais estragos é o emprego do correntão, que consiste numa corrente de 11 t de peso e 100 m de comprimento ligada em sua extremidade a dois tratores. O dano provocado é maior, porque as árvores da Amazônia não possuem raiz profunda (pivotante), mas sim apoiam-se em raízes horizontais muito próximas da superfície (em torno de 1 m ou até menos). Apenas 10% das árvores de um hectare se apoiam numa rede de raízes vertical e triangular (sapopemba). A derrubada das árvores, levanta muita terra que sai junto com as raízes, por 4 ou 5 m de altura. Esta quantidade de terra removida, facilita a instalação da erosão na época em que ocorre a maior intensidade de chuvas.

Ainda segundo Valverde, a falta de cobertura florestal associada as fortes chuvas da região permitem a rápida ocorrência da erosão, na forma de lixiviação, ou seja, o transporte de massa fluida e húmus em solução para o lençol freático e daí para as drenagens, em conjunto com a iluviação, qual seja, a descida dos sedimentos de fração mais fina (silte e argila) para os horizontes inferiores dos perfis de solo. O transporte destes sedimentos vai assorear os rios, diminuindo o seu volume d'água, e também a circulação de oxigênio que vai causar a morte de peixes. Um exemplo destacado é o do

rio Araguaia. Calcula-se que a cada ano são perdidas 65 mil t de nutrientes dos solos devido a erosão.

A perda dos nutrientes traz consequências perversas à agricultura, pois o pequeno produtor não pode plantar neste solo. Normalmente dentro do seu lote, a agricultura é feita na forma de roças, que se deslocam periodicamente, conforme a necessidade de repouso da terra num determinado local. Todavia, as pressões dos grandes fazendeiros para expandir seus domínios espacialmente empobrecem o solo nas adjacências aos pequenos produtores, quando não avançam sobre os mesmos, levando estes a penetrarem na selva e recomeçarem o ciclo de pequena produção, para mais uma vez serem ameaçados pelos grandes latifúndios.

Segundo um cálculo da Fundação Brasileira de Conservação da Natureza, o volume de carvão vegetal a ser produzido anualmente para suprir as necessidades dos projetos sidero-metalúrgicos, equivaleria a um prisma de 100 x 100 m de base, com altura igual a 150 m (cálculo tomando como base a produção de gusa em 1987). Já a Comissão de Desenvolvimento Industrial do Pará, estima que seriam cortados 35 ha de floresta/dia (Bahia, 1988).

Para a produção de uma tonelada de ferro-gusa, são necessários 3,78 m<sup>3</sup> de carvão vegetal, ou seja, 1m<sup>3</sup> de carvão vegetal necessita de 2,2 m<sup>3</sup> de lenha (num ha podem ser obtidos em média 300 m<sup>3</sup> de lenha). Em 1987 o Projeto Carajás demandou 4.105.080 m<sup>3</sup> de carvão vegetal para a produção de 1.086 milhões t de ferro-gusa, implicando no consumo de 9.031.176 m<sup>3</sup> de lenha ou no desmatamento de 30.103,92 ha de floresta. Apenas a implantação da ferrovia consumiu 500 mil ha/ano (Queralt, 1987). Em 1987 a Região Amazônica perdeu 200 mil ha<sup>2</sup> de mata nativa (uma área superior em

extensão territorial ao Acre). Até este ano a Amazônia Legal havia perdido 47% de sua cobertura vegetal.

As siderúrgicas operantes na região de Marabá demandam 93% do carvão vegetal lá produzido, o que é uma quantidade enorme, a tal ponto que em 1987 a cidade já apresentava 12% da cobertura vegetal alterada. Neste mesmo ano a estimativa de demanda, segundo o tipo de cobertura vegetal era de:

22.352 ha/ano de floresta densa  
39.069 ha/ano de floresta aberta  
56.696 ha/ano de cerrado

(Penalber et al, 1987)

A relação entre área desmatada (por formação vegetal) e rendimento em carvão vegetal mais o regime de exploração das florestas brasileiras pode ser apreciado nas Tabelas 5.4 e 5.5:

Tabela 5.4 - Relação entre área desmatada e rendimento em carvão vegetal

| Formação Vegetal | % na Prod. Nac. de C. Vegetal (Mata Nativa) | Part. na Prod. Nac. de C. Vegetal ( $10^3$ t) | Rendimento em C. Vegetal $10^3$ (t/ha) | Área Desmatada (ha) |
|------------------|---|---|--|---------------------|
| Floresta Densa   | 5   | 291   | 70                                     | 4.2                 |
| Floresta Aberta  | 10  | 582   | 40                                     | 14.6                |
| Cerradão         | 20  | 1164  | 27                                     | 43.1                |
| Cerrado          | 65  | 3783  | 10                                     | 378.3               |
| Total            | 100   | 5820  |  | 440.2               |

Fonte: Medeiros (1993)

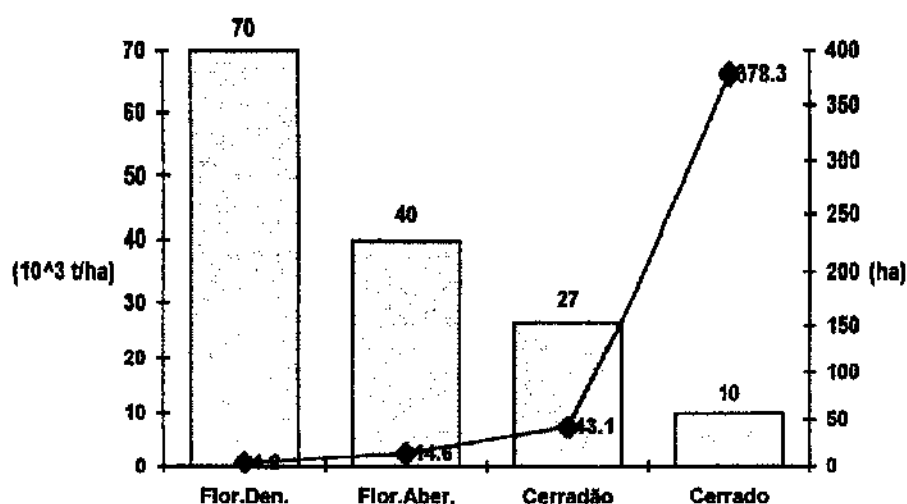
Tabela 5.5 - Estimativa do regime de exploração das florestas brasileiras

| Região    | Potencial Anual de Lenha | Estimativa  |
|-----------|--------------------------|---|
| Amazônia  | 520 Mt                   | 280 m <sup>3</sup> /ha, destes cerca de 140 m <sup>3</sup> /ha podem ser explorados a cada vinte anos |
| Cerrados  | 140 Mt                   | 85 m <sup>3</sup> /ha dos quais 50 m <sup>3</sup> /ha podem ser aproveitados em ciclos de dez anos    |
| Caatingas | 50 Mt                    | 25 m <sup>3</sup> /ha dos quais 15 m <sup>3</sup> /ha podem ser explorados em ciclos de cinco anos    |
| Total     | 730 Mt                   |   |

Fonte: Rodrigues 1983 apud Rosillo-Calle (1987)

GRÁFICO 6.3

## RENDIMENTO DE CARVÃO VEGETAL X ÁREA DESMATADA



Fonte: Medeiros (1993)

Ocorre também a extinção de espécies vegetais, algumas de alto valor econômico, muito apreciadas no exterior como o mogno (*Swietenia macrophylla*), antes abundantes nas florestas do Tocantins e Araguaia, a maçaranduba (*Manilkara uberi*, Ducke), presente no Tocantins e Tapajós, o pau-rosa (*Aniba roseodora*, Ducke), natural das matas de terra firme do Médio Amazonas, entre os rios Tapajós e Manacapuru, e a castanheira-do-Pará (*Bertholletia excelsa*, H.B.K) fonte de renda e alimentação nativa, encontrada nos vales do rio Itacaiúnas e do Araguaia, ao longo da Transamazônica e PA-150.

A operação danosa de usinas siderúrgicas pode ser exemplificada com o caso de Minas Gerais, onde esta provocou a extinção das florestas do vale do Rio Doce. A devastação foi seguindo até próximo de Pirapora, no médio São Francisco e chegou aos cerrados de Goiânia e Uraí (no noroeste de Minas).

Devido ao relevo do vale do Rio Doce ser acidentado, a falta de cobertura florestal permitiu a instalação da erosão, e se seguiram as enchentes e o assoreamento dos rios locais. A remoção da cobertura natural do solo também não permitiu mais a regeneração natural da vegetação que lá anteriormente se processava. Esta passou a ocorrer numa faixa temporal inferior àquela operante na fase em que a cobertura natural ainda estava presente.

A ausência de cobertura vegetal também acentuou o problema das inversões térmicas, que formam uma névoa densa devido a presença de particulados (finos) no ar. Este fenômeno se faz sentir principalmente em Itabirito (MG).

Estes particulados também poluem a cidade de Vitória (ES), provenientes do transporte de finos de ferro, pelo trem Vitória-Minas, e se depositam na praia de Camburi formando linhas de ferrugem na areia (Valverde op. cit.).

### **5.2.1. DESERTIFICAÇÃO**

Embora no Brasil a desertificação ainda não esteja dimensionada espacialmente, não se poderia deixar de mencioná-la por ser um dos efeitos sequentes ao processo de desmatamento relacionado ao uso de lenha como energético.

De modo geral, a desertificação pode se originar a partir da remoção da cobertura vegetal, para fins energéticos ou de abertura de pastos. O grau de desertificação varia por sua vez segundo o agroclima, a densidade populacional e a zona de vegetação presente.

Quando a densidade populacional é baixa e as terras não sustentam produção agrícola, a tentativa de passagem de uma agricultura pouco produtiva para uma de alta produção, sem o auxílio de irrigação pode levar ao aparecimento da desertificação.

Da mesma forma, práticas agrícolas em ambientes com chuvas moderadas e com densidade populacional alta, também levam à desertificação, se as práticas agrícolas não consideram o regime pluvial e técnicas adequadas de uso do solo.

O agroclima também é determinante no aparecimento da desertificação. As regiões que apresentam precipitações moderadas e alta densidade populacional normalmente sofrem restrições em seu acesso à lenha, a intensidade do uso não permite que a massa vegetal se regenere a uma taxa adequada, o que favorece o aparecimento dos pontos de desertificação. Já nas regiões com alta pluviosidade, a contínua movimentação de fluidos no solo o empobrece por meio de lixiviação, e se o uso da lenha é intenso, também não haverá regeneração adequada da floresta (Barnes, 1990).

Quanto à questão da abertura de pastos, ela pode chegar a ser extremamente grave em regiões de densidade de massa florestal baixa<sup>1</sup>. No Brasil os desmatamentos relacionados à abertura de pastos estão relacionados aos projetos agropecuários implantados na Região Amazônica durante os governos militares (item 5.2). Porém a fim de ilustrar-se melhor o problema recorrer-se-á a outros exemplos, como os ocorrentes na África e Ásia.

Na África a região do Sahel sofre os efeitos do excesso de gado que pasta nas regiões que bordejam o Sahara. Também existe o costume de se permitir pastagens em terras vizinhas, após as colheitas. Esta prática contribui para a desertificação pois não

---

<sup>1</sup> Neologismo criado pelo autor da dissertação para exprimir a concentração visual de massa florestal por área.



permite que os solos pobres descansem após a cultura, que têm seus poucos nutrientes retirados quando os animais pastam.

Existem ainda a associação entre os calendários de cultura. No Continente Africano, as estações de plantio agrícola e de árvores são muito próximas umas das outras e bastante curtas, como a prioridade é comida, o plantio das árvores fica em segundo plano, embora a lenha seja extremamente importante na vida dessas populações.

Ja na Ásia o problema aparenta ser mais grave. Barnard (op. cit.) trata de uma pesquisa empreendida no Nepal, onde ficou demonstrado que a população de animais pastando, era de três a nove vezes superior à capacidade da vegetação de fornecer forragem para a alimentação.

### **5.3. OS IMPACTOS AMBIENTAIS DO REFLORESTAMENTO**

Os impactos ambientais associados ao reflorestamento estão diretamente ligados à história do plantio de eucaliptos no País. No início do século XX o eucalipto foi importado da Austrália para servir de fornecedor de matéria-prima para dormentes de ferrovia. Somente na década de cinquenta é que os plantios em escala comercial se iniciaram, favorecidos que foram pela promulgação da Lei de Incentivos Fiscais Nº 5106 de 1967, que objetivava atender aos setores consumidores de carvão vegetal e produtores de papel e celulose.

Segundo Reis & Reis (op. cit.) estes primeiros reflorestamentos foram improdutivos ou fracassaram totalmente devido a :

- carência de trabalhos científicos sobre o assunto que pudessem guiar o plantio dessas florestas com técnicas adequadas de manejo, de modo a melhorar a sua produção e reduzir a pressão sobre as matas nativas;
- emprego inadequado do eucalipto, que é considerado como adaptado a solos marginais e capaz de secar o solo. Porém foi empregado tanto em áreas de afloramento rochoso, quanto áreas com deficiência hídrica mínima ou mesmo elevada;
- escolha inadequada da espécie/procedência. Como os reflorestamentos iniciais apresentaram alta produtividade com *E. grandis* e *E. saligna*, passou-se a considerar estas duas espécies como adequadas a plantio em qualquer condição ambiental. O que se comprovou um erro quando do plantio em cerrado;
- emprego inadequado de técnicas de implantação: uso ineficiente e/ou inadequado de fertilizante e ausência de técnicas conservacionistas;
- a legislação permitia a substituição total da floresta nativa pela plantada;
- a fiscalização se processava apenas até o segundo ano.

Este conjunto de fatores permitiu o desenvolvimento de reflorestamentos desuniformes e com produtividade baixa, que associados ao ataque de pragas e doenças bem como incêndios, resultou na destruição de extensas áreas reflorestadas.

O plantio de florestas principalmente de eucalipto pode apresentar vantagens do ponto de vista ambiental. Segundo a FAO/ONU apud ABRACAVE (1993) a contribuição das florestas de eucalipto se daria como:

- fonte renovável de energia;
- fonte de matéria-prima para as indústrias de ferro-gusa, aço, cimento e outras;

- maior vida às florestas nativas;
- criadora de empregos;
- diminuidora da dependência externa de combustíveis fósseis, além de ajudar a economizar divisas para o País;
- geradora de receitas na forma de impostos e divisas quando da exportação dos produtos;
- melhoradora de infra-estrutura em áreas distantes dos centros urbanos, principalmente pela construção e manutenção de rodovias;
- uma alternativa ecologicamente aceitável, quando não ocupam áreas agricultáveis preservam ecossistemas aquáticos e terrestres da região;
- a eucaliptocultura ajuda na contenção do efeito estufa: o eucalipto é capaz de capturar 8 t de CO<sub>2</sub> /ha/ano. O plantio de 260 milhões ha de florestas poderia estabilizar os níveis de dióxido de carbono que aumentam 2 bilhões t/ano.

#### **5.4. COMENTÁRIOS FINAIS**

- o desmatamento visando a produção de carvão vegetal pode afetar outras comunidades além dos carvoeiros, como alguns grupos indígenas e pequenos produtores. Na região de Carajás é comum a exploração da castanheira por essas populações. O desmatamento não permite que os insetos promovam a polinização, o que impede o surgimento de novas árvores. A própria emissão de CO e CO<sub>2</sub> quando do carvoejamento da lenha associada a particulados pode envenenar a castanheira.

- o desmatamento (promovido de diversas maneiras) causa a remoção da cobertura de solo original, levando os nutrientes e empobrecendo o solo restante, isto em conjunto com as chuvas intensas da Região Norte favorecem o aparecimento da erosão. A cobertura sob a forma de solução é transportada para os cursos d'água, sendo que os sedimentos mais finos (silte e argila) irão se alojar nos horizontes inferiores dos perfis dos solos. Esse material transportado se aloja nos rios assoreando-os, o que diminui o volume d'água e a circulação de oxigênio.
- a maioria das árvores amazônicas não possui raiz profunda (pivotante), mas sim raízes horizontais muito próximas a superfície (no máximo 1 m de profundidade). Assim quando uma árvore é derrubada, as raízes removem solo que é levantado 4 ou 5 m de altura. A terra assim deslocada (ausente) permite a ocorrência da erosão na época das chuvas mais abundantes.
- em 1987 a Fundação Brasileira de Conservação da Natureza, fez o cálculo do volume de carvão vegetal demandado anualmente pelos projetos sidero-metalúrgicos de Carajás. Com a quantidade de carvão necessária poder-se-ia construir um prisma de 100 m x 100m de base por 150 m de altura. Neste mesmo ano a Comissão de Desenvolvimento Industrial do Pará estimou que para a produção de gusa seria necessário o corte de 35 ha/dia de floresta. Como num hectare podem ser obtidos 300 m<sup>3</sup> de lenha (estimativa dessa Comissão), poderiam ser obtidos aproximadamente 130-133 m<sup>3</sup> de carvão vegetal (47,5 t). É claro que este tipo de estimativa considerava a instalação de oito projetos principais de sidero-metalurgia, o que não aconteceu.
- ao contrário do que se imagina a ocupação humana na Amazônia, e por conseguinte a instalação de grandes projetos, não se dá na zona de formações florestais, mas sim

na interface entre cerrado e a floresta semi-úmida, que é periférica à região da Amazônia Legal. No que se refere a esta 64% da AML é ocupado por formações florestais e os 36% restantes por cerrados e campos naturais.

- a partir da definição da zona de ocupação humana, mais os estudos do INPE que quantificaram o desmatamento ocorrente, pode-se dizer que 90% da cobertura vegetal da Amazônia Legal permanece inalterada.
- a associação entre queimadas e desmatamento para produção de carvão vegetal não é totalmente correta, uma vez que rotineiramente estas acontecem em locais onde há tempos se instalaram projetos agropecuários, que assim o procedem para limpar o terreno periodicamente. Mais ainda, a queimada é um método de limpeza recomendado por especialistas devido às cinzas restantes possuírem capacidade de fertilizar o solo.
- por fim pode-se relacionar o desmatamento a três fatores principais:
  - a) dispositivo de lei nº 4.504 de 30/11/64: que define o valor da terra nua em um patamar muito baixo em relação àquela benfeiteiriada. Além disso a terra nua também sofre tributação progressiva;
  - b) os projetos oficiais de colonização agrícola: que se realizaram sobre porções de solos ácidos e pobres, sem qualquer auxílio financeiro ou tecnológico, o que esgotou estas terras em pouco tempo;
  - c) os projetos de pecuária extensiva: que removeram a cobertura original para a formação de pastos.

O próximo capítulo tratará das modificações sofridas pelas populações vizinhas aos projetos de produção de gusa, com ênfase aos pequenos produtores e grupos indígenas localizados na área de influência do pólo guseiro do Projeto Carajás.

---

## **CAPÍTULO VI: AS IMPLICAÇÕES SOCIAIS DA PRODUÇÃO DE FERRO-GUSA**

---

### **6.0. INTRODUÇÃO**

A produção de ferro-gusa guarda a nível social, a perniciosa relação da modificação de estruturas produtivas agrícolas para a obtenção do insumo carvão vegetal. A produção e fornecimento de carvão vegetal nos pólos guseiros aqui em estudo, é responsável pelo conflito estabelecido estando de um lado os órgãos encarregados da política fundiária no País, mais os interessados na privatização de áreas contínuas de terras, e do outro os agricultores dotados de organização comunitária, para os quais a terra se constitui num bem a ser utilizado por todos, sem um dono, e sem limitações de natureza espacial.

A abordagem desse conflito, deve necessariamente focar os modos como os atores envolvidos vêem a terra, e como se originaram as manifestações conflituosas, sem esquecer das críticas a indústria guseira (no bojo do Projeto Grande Carajás), na forma de questionamentos dos impactos positivos e negativos.

### **6.1. O CENÁRIO DOS CONFLITOS**

De maneira geral, pode-se dizer, que as populações hoje produtoras de insumos à indústria guseira, se constituíam anteriormente em camponeses, ou que migraram para

os locais de implantação dos pólos guseiros, com a expectativa de melhoria de vida e de emprego, ou que sendo autóctones, passaram a conviver forçosamente com a produção de gusa.

Parte da população que viria mais tarde a se tornar satélite dos projetos sidero-metalúrgicos, se constituía de migrados de outras regiões, onde por motivos vários não haviam logrado o estabelecimento de práticas agrícolas ou de extrativismo perenes. Em sua grande parte, as massas saíram de suas terras devido a conflitos de terras ou secas prolongadas. Sendo assim, buscam terras onde as encontrem em profusão, e segundo sua lógica comunitária destituídas de donos, ou segundo sua terminologia "terra-de-ninguém". Esta migração se deu, principalmente, no entorno do que é hoje o Projeto Grande Carajás.

Os contingentes para lá migrados, travaram contato com os nativos da região e com as comunidades indígenas, com quem estabeleceram relações de trabalho comunitário, a fim de se estabelecerem nas terras pretendidas. Estas relações se davam a nível de parentesco, ou segundo a união de interesses mútuos, como a coincidência dos calendários de culturas, o que permitia o trabalho coletivo de preparo da terra, plantio e colheita.

Quando do anúncio da implantação do pólo sidero-metalúrgico de Carajás, os conflitos agrários já estavam em progressão. Resultantes estes da ação conflituosa dos órgãos de políticas fundiárias e agrícolas para com os camponeses da região<sup>1</sup>.

A origem dos conflitos está na forma de ação destes órgãos, para os quais estes camponeses se constituíam em nômades, ora praticando agricultura aqui, ora ali e sem o

---

<sup>1</sup> Valverde (1989) define como a área de conflito, o quadrilátero formado a sudoeste pelas cidades de São Félix do Xingu e Santana do Araguaia, e a nordeste Paragominas e Bacabal. Marabá está no centro deste território, que possui na largura máxima as cidades de Tucuruí e Tocantinópolis.

estabelecimento de domicílio fixo. Em face a este não-reconhecimento, foi iniciada a prática da “regularização das terras” e de sua “ocupação racional”, sob a forma de emissão de títulos de direitos sobre as terras. Estes mecanismos, embora legais, privilegiavam o uso privado em detrimento do uso coletivo, posto em prática por essa população. Isto resultou num serviço àqueles que viam na terra um bem de comércio, e de apropriação individual. O nomadismo alegado, na realidade se tratava da expansão da frente de cultivo, que se devia ao resultado insatisfatório das primeiras colheitas, levando a busca de mais áreas de cultivo. Também se devia a obrigação de abastecer a comerciante locais, e a ação de grupos interessados na apropriação destas terras agora sob cultivo (Almeida, 1986). Como se vê, a expansão ou progressão das frentes camponesas era vítima da ação conjunta dos fatores acima, e não um movimento de pura espontaneidade.

A arrecadação de terras, pelos órgãos de política fundiária, se dava pela simples incorporação ao patrimônio da União, de terras ditas devolutas. Na região do Projeto Grande Carajás, este trabalho foi feito pelo GETAT<sup>2</sup>, que alegava a inexistência de título de propriedade e de qualquer reivindicação à título de posse. Tais ações foram corroboradas por registros colhidos nos órgãos fundiários locais, como o ITERPA, IDAGO E ITERMA<sup>3</sup>

Na realidade, a titulação das terras trazia a permissão para a exploração mineral, extração de madeiras, e a exploração das extensões contínuas de terras férteis via manutenção de grandes latifúndios, ou pelo mercantilismo puro e simples dos lotes de terras.

---

<sup>2</sup> GETAT: Grupo Executivo de Terras do Alto Araguaia e Tocantins.

<sup>3</sup> Instituto de Terras do Pará, de Goiás e Maranhão, respectivamente.



Dentro deste contexto, os camponeses detentores de titulação, viam nesta apenas uma forma legal de manter sua estrutura cultural associativa, e suas práticas agrícolas já consagradas. A posse da titulação era condição suprema para a concessão dos “benefícios” do reassentamento. Porém, boa parte das famílias foi reassentada em lotes além de seus “roçados”, ou muito distantes destes, ou ainda seus domicílios foram simplesmente desconsiderados e vários grupos foram remanejados a outras regiões ou estados.

Segundo a visão dos órgãos de política fundiária, e daqueles dispostos a explorar comercialmente a terra, os camponeses eram ameaça à “política de uso racional da terra”, pois como exerciam atividades agrícolas regulares e já estavam estabelecidos na região há décadas, podiam estes se constituir em foco de resistência à política oficial. A partir do estereótipo de ameaça, foi acrescentado o não-reconhecimento do seu direito de posse. Todavia, esta mesma visão não se aplicava a outros grupos presentes nas áreas pretendidas, como índios, coletores de castanha e garimpeiros. Os primeiros, desde o período do descobrimento vêm tendo suas terras oficialmente subtraídas, os segundos, devido ao seu modo de trabalho ser extrativo e localizado não se constituíam em ameaça, pois eram passíveis de controle. Já os terceiros, praticavam uma atividade temporária.

O resultado dessa política, foi uma imediata divisão dos grupos camponeses, com a perda progressiva de suas características de comunidade e usufruto comum dos bens, por uma parte destes. A divisão surgida ficou entre os camponeses-comerciantes e os camponeses-pobres.

Os camponeses-comerciantes, normalmente detentores de máquinas, animais de tração e terras maiores de cultivos, foram beneficiados com as maiores extensões de

terra. A acreção de terras por vezes se dava segundo a anuência do povoado ou grupo de camponeses, ou após disputas com grupos que guardavam interesse por estas terras.

Já os camponeses-pobres, acostumados a ação e cooperação comunitária em suas culturas, foram os mais afetados. Os lotes recebidos eram de tamanho menor que os anteriormente trabalhados, bem como a terra era infértil e muito difícil de ser trabalhada. Os que permaneceram nos lotes se voltaram para atividades de subsistência suplementares, como o garimpo, trabalho em construções ou produção de insumos para a indústria sidero-metalúrgica incipiente. Outros simplesmente venderam os seus lotes, aumentando a concentração de terras nas mãos dos grandes latifúndios, ou nas mãos dos camponeses-comerciantes (Almeida, *op. cit.*).

#### **6.1.1. OS GRUPOS AFETADOS**

Na área de influência do Projeto Grande Carajás, basicamente existem dois tipos de população que sofreram (e sofrem) as consequências de implementação de projetos siderúrgicos: os nativos (autóctones) que são os indígenas e os habitantes locais e os migrados (alóctones) atraídos pela construção de estradas durante o Governo Militar e seus planos de colonização da Amazônia, e aqueles mais tarde atraídos pela possibilidade de emprego nas obras de infra-estrutura do PGC.

Hoje em dia a separação entre estes grupos pode ser feita da seguinte forma: os indígenas têm suas terras cobiçadas e espoliadas e os pequenos agricultores (nativos ou não) que tentam se agregar à indústria de carvão vegetal, seja na forma de produtores do insumo seja como empregados dos projetos sidero-metalúrgicos, o que dificilmente

ocorre pois geralmente não possuem qualificação profissional e terminam por ser apenas carvoejadores.

#### 6.1.1. 1. A QUESTÃO INDÍGENA

A abordagem dos problemas sociais ocasionados pelo PGC, passa também pela consideração da problemática indígena, uma vez que existem diversas aldeias, postos, áreas e reservas, na área de influência do Projeto Carajás e de sua ferrovia. A área do Projeto afeta 90 aldeias, 24 postos indígenas e 12.500 índios (Vidal, 1986).

Quando o Banco Mundial participou do financiamento à Carajás, destinou US\$ 13,6 milhões à demarcação e garantia de terras, programas de saúde, educação e desenvolvimento econômico nas áreas indígenas sob influência da ferrovia. Tal quantia deveria ser empregada num prazo de cinco anos ou até o dinheiro se esgotar. Todavia, em 1982, a FUNAI, apresentou um projeto ao Banco Mundial de utilização dos recursos, sem contudo consultar os maiores interessados, os índios. Concomitantemente, a CVRD ao sofrer pressões nacionais e internacionais, resolveu elaborar um projeto alternativo, com base em investigações antropológicas. Em seguida a este, vários outros surgiram, e foram endereçados a Fundação Nacional do Índio a título de sugestões, porém nenhuma foi acatada. Ademais, a Fundação empregou os recursos na melhoria de sua infra-estrutura.

De modo geral, independente da presença de um projeto desse vulto na região, as terras indígenas, mesmo aquelas demarcadas, estão sendo constantemente invadidas<sup>4</sup>, para agricultura, garimpo ou são alvo da cobiça de madeiras, empresas mineradoras e

---

<sup>4</sup> As invasões, em parte, se devem à política sem critérios de assentamento do GETAT e do INCRA.

grandes projetos agropecuários. Para se ter um quadro claro destas ações, faz-se necessário um pequeno estudo histórico que antecedeu a instalação do Projeto Carajás:

- **1960/1970:** época de elaboração do Plano de Integração Nacional. As invasões de terras indígenas se acentuam, embora houvessem dispositivos constitucionais (Artigo 198 da Constituição Federal);

- **1968:** criação da FUNAI - subordinada ao Conselho de Segurança Nacional - cuja política era acelerar o integração e emancipação das comunidades indígenas;

- **1970:** os índios Gaviões do Pará se libertam da tutela da FUNAI, passando a comercializar a produção de castanha-do-pará no mercado nacional e internacional. Os Xavantes conseguem a demarcação de suas terras. Ocorrem massacres nas áreas dos Caiapós. Os Cainguangús e Guaranis tem seus líderes assassinados;

- **1973:** promulgação do Artigo 65 da Lei 6001/73 - que estabelecia que todas as terras indígenas deveriam estar demarcadas até dezembro de 1978;

- **1979:** surgem as entidades de apoio à causa indígena;

- **1980:** fundada a União das Nações Indígenas;

- **1982:** o cacique dos Xavantes Mário Juruna é eleito Deputado federal (RJ);

- **1983:** promulgação dos Decretos nº 88.118/83 e 88.985/83, que tratam respectivamente do procedimento de demarcação das terras e exploração de recursos minerais em áreas indígenas. O procedimento de demarcação de terras indígenas, teria de ser submetido ao parecer conclusivo de um grupo de trabalho. A proposta de demarcação da FUNAI deveria ser examinada por representantes do Ministério do Interior, do Ministério Extraordinário para Assuntos Fundiários e de outros órgãos federais ou estaduais aos quais a questão concernesse. A proposta da Fundação - segundo o Decreto - deveria levar em conta a presença de não-índios nas terras, a

existência de povoados, de benfeitorias e de projetos oficiais. Ainda nesse ano, é promulgado o Decreto 88.988/83, que tratava da abertura à mineração mecanizada das terras indígenas.

### 6.1.1.2. GRUPOS INDÍGENAS ATINGIDOS

Após a observação dos antecedentes históricos de cobiça de terras e malversação da política indigenista, pode ser feita a nomeação dos grupos indígenas atingidos pelo PGC, ressaltando-se que os problemas advindos do Projeto, nada mais são do que a intensificação de problemas históricos que há muito se processam.

Convém salientar que cada grupo indígena, registra os impactos de forma muito particular, isto é, segundo suas características culturais e de modo de vida. De todos estes grupos, pode-se destacar os Caiapós, como o alvo mais visado, pois suas terras são muito ricas em madeiras nobres e minérios, como o ouro (Tabela 6.1).

Tabela 6.1 - Grupos Indígenas atingidos nos Estados do Pará e Maranhão

| Grupo                    | Tronco | Impactos   |
|--------------------------|--------|--|
| Suruis (PA)              | Tupi   | O projeto de apoio a essa comunidade de autoria da FUNAI e CVRD, é inadequado ao seu modo de vida  |
| Assunis (PA)             | Tupi   | A floresta onde caçam está cercada por projetos agropecuários, além de ser invadida por caçadores  |
| Paracanãs (PA)           | Tupi   | Foram transferidos de suas terras devido ao enchimento do reservatório de Tucuruí  |
| Gaviões do Pará (PA)     | Jês    | Nas suas terras foi construído o linhão da ELETRONORTE e passa parte da estrada de ferro. Os desmatamentos realizados na área diminuíram os castanheais.                     |
| Caiapós-Xicrins (PA)     | Jês    | Existem diversos pedidos para a concessão de licença mineral em suas terras. Ocorrem muitos desmatamentos na área, que associados aos garimpos clandestinos, poluem os rios. |
| Guajás (MA)              |        | Sem reserva própria, são nômades. A área de nomadismo está sob influência do PGC.  |
| Urubus-Caapores (MA)     | Tupi   | Garimpos e desmatamentos na região de caça.  |
| Guajajaras e Guajás (MA) |        | Terras próximas a um dos polos do PGC, a cidade de Santa Inês.   |
| Gaviões (MA)             |        | Sua área sofre invasões. Os limites são irregulares.   |

Dentro do quadro dos atingidos, merecem menção ainda os Cricatis (MA) e os Apinajés (GO, hoje TO), cujas áreas à época do início do Projeto não estavam demarcadas e foram invadidas.

A situação das invasões é especialmente grave no Estado do Maranhão, onde existem contingentes consideráveis de lavradores sem terra. Estes são migrados da seca do Nordeste, ou foram de lá expulsos por ações de grilagem. A terra farta pois, se constitui numa esperança de ocupação perene para melhoria de vida, embora a “terra farta” tenha dono - os índios - estes migrados as consideram improdutivas. Os políticos locais, que também tem interesse nestas terras, promovem campanhas junto aos agricultores para que lá permaneçam, mesmo em condição ilegal, aguardando a liberação das terras.

## **6.2. CONFLITOS AGRÁRIOS X PRODUÇÃO DE INSUMOS**

As populações que hoje estão localizadas na área de influência do Projeto Carajás, são originárias das intensas migrações ocorridas nos anos sessenta. Esse contingente foi atraído pela construção de estradas, pela formação de frentes agrícolas e boa parte foi expulsa de suas terras devido a grilagem promovida por grandes fazendeiros. Mais recentemente, o fluxo migratório foi reativado, desta vez, motivado pela ocorrência aurífera de Serra Pelada.

Os agricultores expulsos originariamente posseiros ou não, procediam de terras do Oeste do Maranhão, Norte de Goiás ou Leste do Pará. A construção da estrada BR-222, que vai de Santa Inês a Açailândia (MA), provocou a movimentação de fazendeiros

com base logística em Imperatriz, que promoveram a expulsão dos posseiros atraídos pela nova estrada e instalados nos vales dos rios Pindaré e Zitiua.

Os conflitos agrários se tornaram mais agudos, a partir da implantação da rodovia Belém-Brasília. As terras adjacentes à estrada, foram ocupadas por sem-terras ou lá se estabeleceram pequenas propriedades. Os grandes fazendeiros, no rastro dos pioneiros, passaram a adquirir terras ou a expulsar os posseiros, e estes passaram a se dirigir para o oeste, adentrando na mata. Entre os anos de 1965 e 1974, se deu o grosso da expulsão dos pequenos agricultores. Os latifúndios recém-formados, passaram a apresentar grandes pastagens, formadas por queimadas.

Outra estrada que favoreceu a migração e depois se tornou palco de conflitos, liga Marabá-São Geraldo-Conceição do Araguaia-Belém. Inicialmente projetada para permitir a chegada de gado bovino por via rodoviária, teve suas laterais ocupadas por posseiros, que posteriormente foram expulsos por grandes fazendeiros, que formaram grandes pastagens derrubando a floresta e tomando terras dos expulsos.

A construção da Transamazônica de 1971 até 1973, obedecia a duas diretrizes do Governo Militar da época, que eram o assentamento de 100 mil famílias de agricultores e a diminuição do problema agrário do Nordeste, por meio da colonização nessa parte da Região Amazônica. Para atingir tais objetivos, o Governo Federal se muniu de mecanismos legais, como o Decreto-Lei nº 1.106, de 16/06/70, que desapropriava uma faixa de terras de 10 km adjacentes à rodovia, mais uma determinada área no Estado do Pará, denominada de “Polígono da Reforma Agrária”. Este mesmo Decreto, previa a revisão dos títulos de propriedade numa faixa de 100 km das bordas da rodovia, para que aquelas terras sem titulação, fossem destinadas ao projeto de

colonização. Porém do total anteriormente previsto de 100 mil pessoas, somente 10 mil foram assentadas.

A partir de 1974, no Governo Geisel, os financiamentos para pequenas propriedades cessaram, e apenas “empresas rurais” continuaram a usufruir destes - via SUDAM<sup>5</sup>. A alegação oficial era que as pequenas propriedades esgotavam o solo, aceleravam a erosão e não contribuíam significativamente para a agricultura.

Os financiamentos eram pré-condicionados ao cumprimento de determinadas etapas pelos empreendedores, ao cumprimento de cada etapa, correspondia o recebimento de uma parcela do financiamento. As etapas diziam respeito a: 1) derrubada e queimada da mata; 2) formação de pastagens, construção de cercas e demais benfeitorias; 3) formação de plantel.

O cumprimento das etapas demandavam mão-de-obra que era escassa na região. Os grandes fazendeiros importaram então, trabalhadores de outras regiões do País, favorecendo aqueles oriundos de focos de conflito agrário, principalmente do Oeste do Maranhão. Também migraram trabalhadores do Piauí, Goiás, São Paulo, Paraná e Minas Gerais.

Os contratos de trabalho não existiam legalmente, tampouco salário ou qualquer direito trabalhista, nem horário fixo e quando findo o trabalho de instalação das benfeitorias, havia a dispensa em massa destes trabalhadores. Estes se mantiveram na região e constituíram núcleos populacionais, como os de São Domingos do Araguaia, Palestina, Redenção e Rio Maria (PA), e os de km 100, Entrocamento, Alto Alegre e Auzilândia (MA).

---

<sup>5</sup> Segundo a SUDAM, as empresas rurais, gerariam divisas e 30 mil empregos.



Durante os anos em que sucedeu a Guerrilha do Araguaia (1971/74) - que tentou tirar proveito da insatisfação dos agricultores locais e vertê-la contra o Governo Militar da época, é que se acentua a formação dos vastos latifúndios, financiados pela SUDAM, no Estado do Pará e pela COMARCO, no Maranhão, que assentava pequenos agricultores em lotes inóspitos (com lençol de água muito profundo) e cedia grandes extensões de terras aos projetos agropecuários.

Os órgãos do Governo Federal destinados a gerir o problema de terras, na região eram: o GETAT, o GEBAM, INCRA e a Comissão da Faixa de Fronteiras. As suas atribuições e área de influência podem ser acompanhadas na **Tabela 6.2**:

**Tabela 6.2 - Atribuições e áreas de influência dos órgãos federais na região de Carajás**

| Grupo   | Atribuição  | Área de Influência                                    |
|---|---|---|
| GETAT - Grupo Executivo de Terras do Araguaia e Tocantins   | Gerir o problema fundiário via força armada sob supervisão do SNI   | Leste do Pará, Oeste do Maranhão e Norte de Goiás     |
| GEBAM - Grupo Executivo do Baixo Amazonas                   | Controlar a distribuição de terras e mineração  | Oeste do Amapá, Norte do Pará e Arquipélago Marajoara |
| INCRA - Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária | Responsável pela distribuição e desapropriação de terras, numa faixa de 10 km bordejantes às rodovias federais. Rever a legitimidade dos títulos numa faixa de 100 km, adjacentes às rodovias federais, construídas, em construção e em projeto, para fins de desapropriação e redistribuição |   |
| Comissão da Faixa de Fronteiras                             | Responsável pelas terras situadas até 100 km de distância dos limites internacionais do Brasil.   |   |

Fonte: Valverde (1989)

Estes órgãos, existiam oficialmente para gerir e dar uma solução aos problemas agrários, porém sempre tomaram parte na estrutura, que permitia a tomada das terras daqueles que estivessem estabelecidos nas áreas de interesse dos “projetos agropecuários”. A estrutura pode ser apreciada na esquematização da **Tabela 6.3**:

**Tabela 6.3 - Estrutura operante na região de Carajás para tomada de terras**

| Componente                       | Função   |
|----------------------------------|--|
| Grupos Económicos e Políticos    | Ligados ao DOPS e ao SNI. Estes por sua vez, atuavam via testas-de-ferro |
| Testas-de-Ferro                  | Organização e execução da grilagem                                       |
| Servidores                       | Falsificação de documentos   |
| Aliados                          | Tomavam a grilagem oficial (escrivães e funcionários do INCRA)           |
| Limpadores de Área (Pistoleiros) | “Convenciam” os agricultores a abandonar as terras                       |

Fonte: Valverde (1989)

Entretanto a forma mais comum de violência praticada contra os pequenos agricultores, era a feita pelos pistoleiros a mando dos grandes fazendeiros. Normalmente era feita uma perseguição sistemática aos pequenos agricultores, quando estes não queriam abandonar as terras. Muitas vezes a disputa evoluía a tal ponto que só “restava” aos pistoleiros a alternativa de matar os agricultores. Estabelecido o domínio sobre as terras, os fazendeiros procediam então à “queima de arquivo”, eliminando os pistoleiros que lhes haviam prestado “serviço”. Para tal contavam com a ajuda dos organismos oficiais que cuidavam da repressão, como a Polícia Federal e o Exército.

Esta população que sofria os problemas agrários, lutava contra os grandes fazendeiros e que já havia migrado (fugido) de situações semelhantes em outros estados, foi a formadora da mão-de-obra fornecedora de insumos aos projetos siderometalúrgicos de Carajás.

Aqueles agricultores que conseguiram lotes de terras para permanecer trabalhando, praticavam agricultura essencialmente de subsistência, e quando havia excedente, este era vendido nas localidades próximas. Contudo quando do anúncio da instalação de grandes projetos metalúrgicos em Carajás, estes pequenos produtores tentaram se estruturar para fornecer carvão vegetal aos projetos, porém não possuíam cultura de carvoejamento nem tradição na técnica. Passaram então a desmatar desordenadamente para produzir carvão, que era comprado pelas empresas, porém sob condições como diâmetro e tamanho mínimo, quantidade padrão a ser fornecida em períodos regulares e facilidade de acesso aos locais de produção. Com efeito, somente era comprado o carvão daqueles pequenos produtores localizados próximos a estradas. As condições referentes a diâmetro e tamanho mínimo dificilmente era atendidas, pois para corresponder à quantidade demandada pelos projetos, os pequenos produtores não

realizavam a combustão da lenha de forma adequada, o que resultava frequentemente em carvão vegetal de qualidade inferior. Ainda existindo o agravante de o processo de conversão de lenha em carvão vegetal se dar em fornos primitivos, sem eficiência mínima, ocasionando perdas térmicas.

Os grandes consumidores de carvão vegetal, vendo que suas demandas não poderiam ser satisfeitas pelos pequenos produtores, estabeleceram dentro de suas propriedades setores de produção de carvão vegetal, com a qualidade e especificações exigidas, e trouxeram mestres carvoeiros de Minas Gerais, local onde a técnica de carvoejamento já estava estabelecida há décadas. Também criaram baterias de fornos para conversão da lenha em carvão vegetal, porém continuaram a adquirir carvão de terceiros, em quantidades determinadas. A aquisição era explicada pelo fato das reservas de floresta de propriedade dos projetos serem limitadas espacialmente, o que não ocorria com os pequenos produtores, que podiam adentrar qualquer porção de terras que lhes aprouvesse, o que por sua vez costumava (e costuma) resultar em conflitos com proprietários de grandes latifúndios, já que os pequenos produtores de carvão vegetal para atingir as quantidades exigidas, avançavam sobre extensões cada vez maiores de florestas.

A mudança nos hábitos de cultivo destes pequenos produtores, que passaram a produzir carvão vegetal ao invés de bens agrícolas para a sua subsistência, modificou radicalmente a estrutura familiar existente até então. Na estrutura pretérita, o pai era responsável pela preparo, plantio e cultivo da terra<sup>6</sup> (geralmente com auxílio de vizinhos), bem como da colheita, já a mãe cuidava dos afazeres domésticos e das

---

<sup>6</sup> Era comum os pequenos produtores possuírem uma ou duas cabeças de gado, para produção doméstica de leite e queijos, e também criações de porcos, galinhas ou cabras.

crianças, e quando havia excedente de produção auxiliava o marido a vendê-la nas localidades próximas. Com a passagem para a produção de carvão vegetal, isto passou a não mais ocorrer, pois como não havia tradição na produção de carvão vegetal em escala industrial (apenas doméstica), o pequeno produtor necessitava da ajuda do maior número possível de pessoas, a fim de atender a demanda dos projetos. Para tal, incorporou toda a família no processo produtivo, e abandonou ou relegou a segundo plano a agricultura. Decorreu então, a queda no padrão de vida dessa população, pois o carvão produzido era de qualidade inferior (combustão ineficiente, especificações não-atendidas, etc.) e não era comprado pelos consumidores, e como não se produzia mais bens agrícolas não se tinha do que sobreviver. Criava-se então um círculo (ciclo) vicioso, para atender a demanda crescente de forma satisfatória, o pequeno produtor avança em direção à floresta cada vez mais, muitas vezes invadindo áreas de “projetos agropecuários”, lá era expulso ou morto, quando expulso tentava voltar à antiga produção agrícola, tentando recuperar o tempo perdido, ou atraído pelas notícias de ocorrências de ouro (Serra Pelada, por exemplo), tentava se tornar garimpeiro, numa forma de trabalho em que também não possuía tradição. À esposa e filhos restava o abandono, ou a mendicância, quando não havia nenhum filho ou quando as filhas já possuíam certa idade (em torno dos quatorze anos) restava a prostituição<sup>7</sup>.

Tal situação persiste e tão cedo não se antevê solução, ainda mais que os grandes fazendeiros passaram a se apropriar das terras daqueles que não mais as cultivavam, pois estavam voltados para a produção de carvão vegetal. Os grandes fazendeiros justificam o ato afirmando que o agricultor perdeu o interesse em plantar,

---

<sup>7</sup> Existem regiões de garimpo onde é comum se encontrar prostitutas até mais jovens. A prostituição pode começar aos oito ou nove anos e se encerrar aos dezesseis ou dezessete, quando estas prostitutas já têm vários filhos.

portanto não mais precisa da terra, e pode conseguir madeira para o carvão vegetal na selva.

Alguns grandes fazendeiros, tentaram se agregar à indústria de carvão vegetal, cedendo terrenos a posseiros e construindo fornos, para que estes pudessem praticar o carvoejamento, todavia não recebiam salário, o regime de trabalho era intensivo, geralmente com toda a família envolvida. A única compensação existente era que aquilo produzido via cultura agrícola nos lotes cedidos era pertencente ao agricultor, entretanto, a produção era seriamente afetada, em virtude das demandas por carvão vegetal, produzido em regime de escravidão. Aqueles trabalhadores que denunciasses este regime, ou tentassem se rebelar eram sumariamente mortos pelo exército de pistoleiros dos fazendeiros.

A forma como a estrutura produtora de carvão vegetal se estabeleceu, pode ser apreciada na **Tabela 6.4** :

**Tabela 6.4 - Estrutura produtora de carvão vegetal**

| <b>Tipo de Produtor</b>  | <b>Localização</b>  |
|--|---|
| Carvoarias situadas no interior de serrarias                                   | Ao longo da Transamazônica e PA-150, e num raio de 100 km do distrito industrial de Marabá-PA |
| Carvoarias nas propriedades rurais pertencentes às empresas siderometalúrgicas | Marabá e cercanias  |
| Carvoarias localizadas em fazendas   | Distrito industrial de Marabá   |
| Carvoarias nos lotes dos pequenos produtores                                   | Marabá e cercanias - sujeitas à proximidade de vias de acesso ao distrito industrial          |

Fonte: IDESP, 1990

### **6.2.1. AS TENTATIVAS DE REFORMA AGRÁRIA**

Em face dos sérios problemas agrários ocorrentes em todo o Território Nacional, o primeiro Governo Militar, criou o Estatuto da Terra (Lei nº 4.504, de 30/11/64), que visava lançar as bases de um Plano Nacional de Reforma Agrária. Na esteira da criação do Estatuto, foram criados também o IBRA - Instituto Brasileiro de

Reforma Agrária, e o INDA - Instituto Nacional de Desenvolvimento Agrário. Todavia, estes dois órgãos durante todo o seu período de existência (1964-1970), foram alvo de denúncias de corrupção e irregularidades<sup>8</sup>.

O projeto de reforma agrária do Governo Militar foi protelado até 1969, quando foi criado então o GERA - Grupo Interministerial de Trabalho sobre a Reforma Agrária. A partir disso, iniciou-se um processo de fusão entre o IBRA e o INDA, que resultaria na criação do INCRA (Decreto-Lei n 1.110 de 9/07/70).

O INCRA servia aos propósitos dos Militares de colonizar a Amazônia e de solução dos problemas agrários. Sob essa ótica, a implantação de projetos de desenvolvimento amazônico, necessitava de mão-de-obra para tal, e como a região era pouco povoada, a solução seria buscar trabalhadores no Nordeste, grave foco de tensões agrárias e levá-los para o Norte. Deste modo, se solucionaria a questão da colonização amazônica e se aliviaria a tensão agrária nordestina. Para facilitar esse êxodo, agora oficial, o Governo abriu a Transamazônica, que alterava as tradicionais correntes de migração Nordeste-Sudeste e passava a destinar estas aos Estados do Pará, Mato Grosso, Goiás e Maranhão (Oliveira, 1991).

Como já discutido anteriormente, estes projetos de colonização fracassaram. Com a subida do Gal. Geisel ao poder, a destinação dos incentivos oficiais se voltou para os "projetos agropecuários". Tal determinação se baseava num Decreto-Lei nº 1.179 promulgado ainda pelo Governo Medici, datado de 6/07/71, que criava o PROTERRA - Programa de Redistribuição de Terras e Estímulo à Agroindústria do Norte e Nordeste. Neste projeto, os proprietários de terras de um determinado tamanho

---

<sup>8</sup> Em 1968, foi constituída uma CPI para investigar um escândalo de venda de terras a estrangeiros, realizada sob a conivência desses órgãos.

tinham seis meses para apresentar projetos de aproveitamento das mesmas, indicando no caso de aprovação do projeto, as pessoas que executariam o projeto. A aprovação do projeto destinava uma indenização justa ao antigo proprietário, e as terras seriam vendidas aos pequenos agricultores via Banco do Brasil.

O PROTERRA se destinava a captar apenas as terras consideradas improdutivas mediante avaliação técnica. Aos proprietários que não aderissem ao programa, teriam suas terras requisitadas, e seriam pagos mediante títulos da dívida pública.

Num primeiro instante, houve revolta por parte dos latifundiários quanto ao programa, e até ameaças de resistência armada. Todavia, logo estes compreenderam que podiam “vender” suas piores terras, por preços acima daqueles praticados pelo mercado, algumas vezes inflacionado em 500%.

Como era de se esperar, o PROTERRA também estava destinado ao fracasso. Os sucessivos descaminhos na questão agrária, levaram ao envolvimento militar direto, culminado pelo Decreto-Lei nº 1.523 de 03/02/77, que criava as “Coordenadorias Especiais em áreas consideradas indispensáveis à segurança e ao desenvolvimento nacional”, que respondiam a Secretaria Geral do Conselho de Segurança Nacional, na forma de organismo autônomo do INCRA. O resultado foi a criação em 1980, do GETAT para administrar (via força armada) a situação fundiária no Sudeste do Pará, Norte de Goiás e Oeste do Maranhão, e do GEBAM, inicialmente atuando nos municípios de Almerim (PA) e Mazagão (AP).

Porém, como é sabido o problema agrário continua sem solução até hoje, apesar dos diversos projetos empreendidos, que tinham a visão linear de solucionar o problema com a simples cessão de terras. Esqueciam ou não atinavam para a necessidade de infraestrutura no lote recebido e da necessidade creditícia, pelo menos por alguns meses até

o estabelecimento da produção. Tampouco atentavam para o fato do choque cultural, ocorrente na transferência de um agricultor nordestino para a Amazônia, lugar onde nenhum de seus conhecimentos anteriores de trato com a terra, poderia ser empregado de forma satisfatória

### 6.3. CENÁRIOS FUTUROS DAS ÁREAS DE CONFLITO

A partir do estudo das tendências comportamentais das áreas de conflito, bem como da movimentação social dos pequenos produtores e dos fazendeiros em relação aos projetos sidero-metalúrgicos (IDESP, 1990), passa-se ao exercício da construção de cenários na região de influência do Projeto Carajás. Os cenários prender-se-ão a dois grandes grupos, que dividir-se-ão em subgrupos, i.e, a partir de uma situação pré-estabelecida, procede-se a análise de diversas hipóteses, a saber:

- a) Cenário 1: Problemática da produção de carvão vegetal para a siderurgia;
- b) Cenário 2: Problemática da produção de carvão vegetal por reflorestamento.

**Cenário 1:** Problemática da produção de carvão vegetal para a siderurgia:

**Hipótese 1:** produção de carvão vegetal sem a implantação de projetos de assentamento de reforma agrária e com reflorestamento.

A demanda de carvão vegetal cada vez maior, não poderá ser atendida num determinado ponto no futuro sem a incorporação dos pequenos produtores ao mercado. A falta de projetos de reassentamento na região, obriga cerca de 2.500 famílias a suprir



sua subsistência com a produção de carvão vegetal. Nem mesmo as empresas que possuem carvoarias sob sua gestão serão capazes de suprir a demanda.

Em 1992, a COSIPAR instalada no distrito industrial de Marabá-PA, controlando cerca de 600 fornos<sup>9</sup> de produção de carvão vegetal, só conseguiu suprir 16% de sua demanda interna. Outras duas empresas a SIMARA e a PROMETAL, também localizadas em Marabá supriram apenas 5,5% de sua demanda.

A incorporação de novas fazendas e carvoarias, está impedida pela legislação que proíbe este tipo de atividade próximo a área urbana (no caso Marabá). O carvão produzido nas fazendas está prestes a se esgotar, pois as áreas de onde é extraída a lenha ficam cada vez mais distantes das estradas que permitem o seu transporte, a atividade vai então se tornando paulatinamente anti-econômica.

A Portaria Normativa do IBDF nº 242, datada de 17 de agosto de 1988, estabelecia que em 1992, 40% da demanda de carvão vegetal teria de ser suprida por florestas próprias ou adquiridas de terceiros exclusivamente para este fim. Todavia, para tal objetivo ser atingido, era necessário a duplicação da oferta de carvão vegetal feita pelas fazendas e serrarias, e ainda com contribuição de 50% dos pequenos produtores. Atualmente não se tem informação oficial do percentual de carvão vegetal oriundo de florestas próprias ou adquiridas de terceiros, mas crê-se que os níveis se mantenham em torno de 25 a 30%, que são os valores aproximados de 1990.

A não-implantação de projetos de reassentamento, certamente conduzirá 2.725 pequenos produtores<sup>10</sup> para o carvoejamento. Com o esgotamento da mata nativa nos

<sup>9</sup> Um forno desses produz em média 1,2 t por fornada. Mensalmente são obtidas quatro fornadas, o total anual global é de:  $[1,2 \times 4 : 30 \text{ (mês)}] \times 12 \text{ (ano)} \times 600 \text{ (n}^\circ \text{ fornos)} = 34.560 \text{ t/ano}$ . Ano base 1990.

<sup>10</sup> O número médio de uma bateria de fornos é de vinte, que pode ser operada por seis homens, produzindo em média 2,4 t/dia de carvão (duas de 1,2 t). A jornada semanal é de seis dias. Ao ano a produção média por trabalhador é de 115,2 t/ano, logo:  $(0,5 \times 628.000 \text{ t de carvão vegetal}) : 115,2 = 2.725 \text{ trabalhadores}$ .

pequenos lotes, o pequeno produtor não poderia mais produzir carvão vegetal e nem retornar à agricultura, pois o solo estaria empobrecido, o clima modificado (devido ao CO e CO<sub>2</sub> na atmosfera) e não haveria mais floresta (IDESP, op. cit.).

**Hipótese 2:** Problemática da produção de carvão vegetal sem implantação de projetos de reassentamento e sem reflorestamento:

A se confirmar que o previsto na Portaria Normativa do IBDF nº 242 não foi conseguido, serão incorporados à indústria carvoeira informal, 4.906 pequenos produtores, que virão a se tornar desempregados num curto prazo, em virtude do rápido esgotamento da porção de floresta de seus lotes.

**Hipótese 3:** Problemática da produção de carvão vegetal com a implantação dos projetos de reassentamento e de reforma agrária:

Considera-se aqui o atendimento à Portaria Normativa do IBAMA supra-citada e que os pequenos produtores não estão incorporados ao mercado de carvão, pois atuam como agricultores.

Todavia, o suprimento de carvão vegetal via florestas próprias ou adquiridas de terceiros, deve estar subordinado a um aumento da oferta por parte das fazendas produtoras e das serrarias, o que atualmente é bastante difícil de ocorrer.

A implantação do reflorestamento por parte dos interessados em carvão vegetal, terá de ocorrer em qualquer momento, pois a matéria nativa se esgota e a legislação cada vez mais restringe as atividades de carvoejamento. Neste contexto, surgem a expectativa que enquanto se aguarda o período ótimo de corte da floresta plantada, os projetos sidero-metalúrgicos utilizem outros insumos a curto prazo, como o coco de babaçu e o gás natural, sob uma ótica de economicidade é claro.

O ponto positivo, no caso da efetivação desse cenário, é que a estrutura familiar e produtiva camponesa seria mantida, pois não haveria o ingresso na atividade de carvoejamento, que é totalmente estranha ao campesinato local.

**Cenário 2: Reflorestamento para a produção de carvão vegetal:**

A atividade de reflorestamento está prevista nos projetos aprovados para operação na área de Carajás. No caso de sua concretização, haveria geração de empregos referentes ao plantio da floresta, cultivo e transporte da lenha (IDESP, op.cit.), todavia, atualmente não há registro que indique o início do reflorestamento por parte dos consumidores de carvão vegetal.

**Hipótese 1:** Não ocorrerá reflorestamento por um período mínimo de cinco anos, em nenhuma das propriedades dos consumidores de carvão, resultando nos desdobramentos já comentados anteriormente.

**Hipótese 2:** O reflorestamento acontece num curto prazo, em cumprimento à portaria do IBDF, que estabelece o consumo de carvão vegetal a partir de 1998, como todo originário de floresta plantada ou adquirida para tal fim.

A médio prazo (em torno de cinco anos), os principais consumidores na área de Carajás, demandariam 40% de suas necessidades de florestas próprias ou adquiridas, algo em torno de 251, 2 mil t/ano, baseada na produção de carvão vegetal de 1992, cerca de 628 mil t.

O suprimento de 50% da demanda de carvão vegetal, via reflorestamento, responde por 39 empregos considerando-se uma produção de 1000 t/ano de ferro-

gusa<sup>11</sup>. Ao se tomar o índice a médio prazo de 40% anteriormente citado, o reflorestamento responderá por 31 empregos por 1000 t de gusa.

A execução do reflorestamento está diretamente ligada à criação de mecanismos legais de incentivo, sem ceder-se a tentação de incentivos fiscais, que já se revelaram ineficientes no passado.

Na região do distrito industrial de Marabá, se mantida a produção de ferro-gusa aos níveis de 1992, i.e, 385 mil t, e admitindo-se que o reflorestamento<sup>12</sup> já tenha se iniciado e que o primeiro corte se dará daqui a cinco anos, a área ser reflorestada será de 865, 4 mil ha. O que corresponde a 18,7% da área de influência da Estrada de Ferro do Projeto Carajás.

#### 6.4. AS IMPLICAÇÕES SOCIAIS DO REFLORESTAMENTO

À excessão dos projetos sidero-metalúrgicos integrados, geralmente a atividade de carvoejamento é conduzida por pequenos produtores, em caráter familiar, que se lançam à produção de carvão atraídos por um projeto sidero-metalúrgico que passa a operar. Muitas vezes essas famílias são migrantes de outras regiões do País, bem como raramente possuem experiência na técnica do carvoejamento. Por outro lado existem aqueles que já produziam anteriormente carvão vegetal para consumo doméstico e apenas promovem um aumento na escala de produção.

<sup>11</sup> Para cada 1000 t de gusa produzido anualmente, necessita-se reflorestar 160 ha/ano.

<sup>12</sup> Admitindo-se 0,16 ha/ano de área reflorestada para 1000 t gusa/ano, para atender 50% das necessidades de carvão, conforme estudo da CRVD de 1987. Para um atendimento de 80% da demanda, via carvão de reflorestamento a relação será 0,25 ha/ano para 1000 t gusa/ano, e 90% será de 0,28 ha/ano por 1000 t gusa/ano.

Ocorre porém que a produção em pequena escala trabalha com a matéria-prima que é capaz de alcançar, quando esta começa a escassear tende a ir buscá-la em outras regiões que podem ser tanto propriedades privadas quanto áreas intocadas de vegetação, sendo porém estas últimas sempre importantes do ponto de vista ecossistêmico.

A exploração de lenha em terras particulares normalmente resulta em conflito e a extração predatória em danos ambientais<sup>13</sup>. Com a criação de projetos de reflorestamento, a mão-de-obra do carvoejamento poderia ser empregada não só nesta atividade, mas também naquelas relacionadas ao plantio da floresta (preparo do terreno, adubação, fertilização, etc.,)

Isto permitiria a diminuição da pressão sobre as florestas nativas preservando-as, recuperaria áreas degradadas pela exploração indiscriminada, além de fornecer meios de fixação do homem ao interior, minorando assim as migrações aos grandes centros urbanos.

Da mesma forma o plantio de florestas evitaria as atuais condições de trabalho insalubre, enfrentadas pelos pequenos produtores. Estes têm de atender a demanda nos prazos estipulados pelos compradores, e por conseguinte não procedem ao carvoejamento em condições adequadas, geralmente este é feito num tempo inferior ao desejado para se obter carvão vegetal de qualidade. Assim, após algumas horas de carvoejamento, simplesmente abrem o forno e descarregam o material carbonizado, carregando-o novamente, só que às custas de respirar os compostos e voláteis despreendidos pela madeira, alguns destes extremamente tóxicos.

---

<sup>13</sup> Ver Capítulos V e VI

## 6.5. COMENTÁRIOS FINAIS

- a principal origem dos conflitos sociais na região de Carajás é resultante da atuação do órgãos federais responsáveis por políticas agrícolas e fundiárias. No entender destes os camponeses praticavam o nomadismo agrícola, sem o estabelecimento de domicilio fixo. Todavia este nada mais era que o avanço da frente de cultivo. Os gestores de políticas agro-fundiárias acreditavam no entanto que a movimentação camponesa era espontânea e necessitava de ser administrada por meio da regularização de terras e de posterior ocupação racional sob a forma de emissão de títulos de terras.
- na prática ocorreu a destruição do sistema de uso coletivo das terras, favorecendo o uso privado destas. Este reordenamento na maneira de se ver a terra chamou a atenção dos interessados em especulação fundiária.
- o GETAT grupo que incorporou terras ditas devolutas ao patrimônio da União, baseado na inexistência alegada de títulos de propriedade ou ações reivindicatórias de posse, o fez auxiliado por órgãos regionais como o ITERPA, IDAGO E ITERMA que eram parcilamente “influenciados” por interessados locais no comércio de terras.
- os camponeses passaram a ver na titulação de terras a saída legal para manter a estrutura cultural associativa e suas práticas agrícolas tradicionais, além de poder acessar os “benefícios” do reassentamento. Contudo a maioria dos reassentados foi postada em lotes muito distantes de seus antigos “roçados”, os domicílios anteriores foram ignorados, e parte ainda foi levada a outras regiões ou estados.

- para os gestores da política fundiária e os interessados no mercantilismo da terra, os camponeses se constituíam em ameaça ao uso racional da terra, embora já estivessem estabelecidos na região há tempos e de praticarem agricultura regularmente, pois poderiam vir a ser um foco de resistência à política oficial. Entretanto essa visão era restrita aos camponeses, os outros grupos presentes na região (índios, coletores de castanha e garimpeiros) eram vistos da seguinte forma: os índios sempre foram espoliados, os coletores de castanha praticavam o extrativismo restrito (i.e., poderiam ser controlados) e os garimpeiros estariam na região apenas temporariamente.
- de modo a ter um maior controle sobre os camponeses, os órgãos agro-fundiários promoveram a divisão destes em camponeses-comerciantes e camponeses-pobres. O resultado foi a perda de coletividade na convivência comunitária e no usufruto comum de bens nas práticas mais diversas.
- aos camponeses-comerciantes foram destinados os lotes de maior tamanho, sob a justificativa de estes possuírem maquinário, animais de tração e terras extensas cultivadas. Com o passar do tempo aos lotes originais eram agregados outros obtidos de transações ou de contendas com outros proprietários.
- já para os camponeses-pobres foram destinados os lotes de menor tamanho em que a terra ou era infértil ou difícil de ser trabalhada. Aqueles que optaram por permanecer nos lotes passaram para outras atividades além da agrícola, como o garimpo, trabalho em construções ou produção de carvão vegetal. Outros venderam os seus lotes aos interessados em aumentar o latifúndio.
- as apropriações ilegais de terras só prosperaram porque os órgão encarregados de cuidar da distribuição de títulos na região foram coniventes ou se omitiram frente à

estrutura montada para emissão de títulos de propriedades falsos presente principalmente nos cartórios.

- a área de influência do PGC abrange 90 aldeias, 24 postos indígenas e 12.500 índios. E embora à época do financiamento do projeto o Banco Mundial tenha destinado US\$ 13,6 milhões para demarcação, garantia de terras, programas de saúde, educação e desenvolvimento econômico, nada foi feito. A FUNAI que recebeu o dinheiro aplicou-o na melhoria de sua infra-estrutura. À parte disso, as terras indígenas, mesmo as demarcadas, sofrem constantemente invasão por agricultores, garimpeiros, mineradores e comerciantes de madeira.
- dentre os impactos sofridos pelos indígenas os principais foram: a) mudança no “modus-vivendi”, com alterações nas áreas de caça e de coleta de frutos (Suruis e Gaviões); b) transferência das terras originais devido ao enchimento de Tucuruí (Paracaná); c) pressões constantes para a concessão de licenças de exploração mineral (Caiapós).
- as invasões de terras indígenas se dão principalmente por lavradores sem terras, geralmente migrados do Nordeste. Os interessados locais nas áreas indígenas fazem crer aos migrados que estas terras são improdutivas além de serem excessivas aos usos indígenas, e assim fomentam as invasões dizendo aos agricultores que lá permaneçam aguardando uma suposta liberação.
- as condições degradantes de trabalho não são exclusividade das cercanias do Projeto Carajás. Na região norte de Minas, na faixa abrangida pela cidade de Monte Claros até o sul da Bahia (compreendendo cerca de três milhões de hectares de eucalipto, onde operam as seguintes empresas: Companhia Siderúrgica Guanabara S/A, Vergathel Fábrica e Transporte de Carvão Ltda., MinasLiga, Companhia Siderúrgica



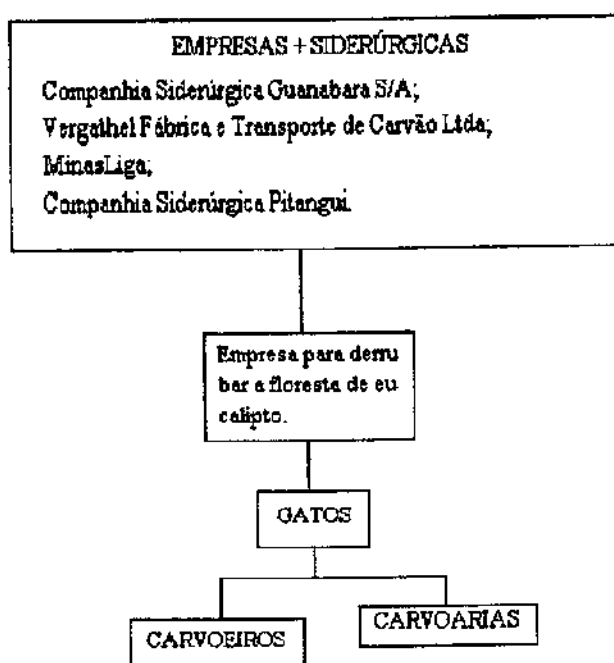
Pitangui), existem denúncias de trabalho escravo (Pamplona e Rodrigues, 1995). Segundo dados levantados pela CPT (Comissão Pastoral da Terra), o número de trabalhadores na atividade carvoeira que não possuem registro profissional, com salário-cativo<sup>14</sup> muito abaixo do mínimo, e condições subhumanas de trabalho, é de cerca de 10.000 trabalhadores, ainda segundo a CPT, esse regime de trabalho (em todo o Brasil) evoluiu de 19.940, no ano de 1993, para 25.193 em 1994. O ritmo de trabalho pode chegar a atingir 15 horas por dia, sendo que a remuneração por metro cúbico de carvão vegetal varia entre R\$ 0,5 e R\$ 1,0. Comumente, toda a família participa da atividade de carvoejamento, até mesmo as crianças. A estrutura produtiva de carvão vegetal no Norte de Minas Gerais pode ser melhor apreciada no diagrama abaixo, onde o campo que trata das carvoarias está um pouco acima do campo dos carvoeiros. Isto se dá de forma a representar uma certa hierarquização que parece ocorrer dentro da estrutura produtiva, pois não é muito claro a participação dos carvoeiros quanto a forma de produção, isto é, os carvoeiros, aparentemente, produzem carvão vegetal de forma independente, e/ou produzem carvão vegetal subordinados a uma carvoaria detentora dos fornos, que contrata os carvoeiros para a produção de carvão. Igualmente obscura é a relação entre as siderúrgicas e as carvoarias, tem-se a impressão de ambiguidade no tratar das carvoarias. Ora as carvoarias estão sob administração das siderúrgicas, ora não estão. Aparentemente, a estrutura se comporta da seguinte maneira; a siderúrgica precisa de carvão, então contrata uma empresa para derrubar a floresta de eucalipto, enquanto se entra em contato com o “gato” (a siderúrgica, muito provavelmente)

---

<sup>14</sup> Salário-cativo é aquele destinado exclusivamente à compra dos produtos oferecidos (a preços exorbitantes) pelo empregador.

que agências os carvoeiros, que é o encarregado, provavelmente, de fornecer madeira e apanhar carvão vegetal, além de “pagar” os trabalhadores.

ESTRUTURA DE PRODUÇÃO DO CARVÃO VEGETAL NO NORTE DE MINAS GERAIS



Fonte: Pamplona & Rodrigues (1995)

O próximo capítulo tratará das limitações inerentes a exploração florestal, tanto de mata nativa quanto de floresta energética. Além de apresentar um exercício baseado em dados reais que demonstra quanto custaria o plantio de uma floresta energética e a produção de carvão vegetal a partir de lenha por esta fornecida.

---

## **CAPÍTULO VII: A FLORESTA COMO FONTE DE ENERGIA E OS FATORES LIMITANTES**

---

### **7.0 INTRODUÇÃO**

Este capítulo trata da questão do fornecimento de carvão vegetal como insumo à sidero-metalurgia sob a ótica da exploração florestal. Com base nesse contexto, a abordagem dar-se-á segundo três pontos: a) durante o primeiro será discutida a pressão cada vez maior sobre as florestas nativas feita pela indústria e as respectivas restrições legais impostas à este tipo de exploração. Tal situação traz à baila a sugestão do plantio de florestas com vistas ao fornecimento de lenha para carvoejamento; b) o fornecimento de carvão vegetal implica numa quantificação do potencial energético das florestas, sejam nativas, sejam plantadas e c) em termos de custos para o interessado em carvão vegetal, como se apresentaria a situação de plantio.

Os dois primeiros pontos funcionam como embasamento ao terceiro que é o objetivo deste capítulo, qual seja determinar teoricamente e dentro de condições pré-estabelecidas, em se plantando uma floresta, quanto custa a lenha extraída, o carvão vegetal produzido e como, segundo os custos apresentados, se comporta o carvão vegetal frente ao mineral.

O plantio de florestas apresenta um custo US\$/ha que varia em termos de tempo pretendido de exploração da madeira, insumos empregados durante o plantio, reforma e

manutenção e uso final pretendido da madeira (por exemplo produção de carvão vegetal ou de madeira para postes).

Assim sob um quadro teórico de plantio de florestas de eucalipto procede-se ao exercício de se quantificar os custos em termos de US\$/t de lenha e de carvão vegetal, com taxas de desconto pré-determinadas, em ciclos de exploração de quinze e vinte e um anos, sendo que o ciclo de quinze anos é aqui considerado como alternativo, havendo três cortes a intervalos regulares dentro destes ciclos.

### 7.1. A NATUREZA JURÍDICA DA FLORESTA

Devido as árvores que constituem as florestas possuem utilidade para o homem, o Direito reconhece-as como passíveis de apropriação, podendo se constituir em bem econômico ou patrimonial. Nesta situação tornam-se regidas pelo Direito de Propriedade constante no Código Civil (Direito Privado) (Magalhães, 1992).

Segundo o Código Civil, as florestas podem se apresentar na forma de bens sob três situações distintas: bens móveis, imóveis e bens fora de comércio.

**a) bens móveis:** quando sob a forma de mudas de árvores que podem ser transportadas a qualquer lugar, sem alteração de forma e conteúdo, como quando para comercialização.

Ou ainda quando na mesma situação são plantadas com a finalidade de fornecer material lenhoso destinado ao consumo, na forma de lenha ou de matéria-prima industrial (bens móveis por antecipação).

**b) bens imóveis:** se configuram em três situações:

- quando são naturais e aderem ao solo são bens imóveis por natureza ou acessão natural;
- quando plantadas pelo homem são bens imóveis por acessão artificial;
- quando são separadas do solo momentaneamente, mas se destinam ao replantio, são consideradas bens imóveis por acessão intelectual.

**c) bem fora de comércio:** se constitui naquele “sobre o qual os particulares não podem exercer direito exclusivo ou que não podem alienar”. Por sua vez, o bem fora de comércio pode ocorrer de duas formas:

- quando não pode ser apropriado; luz, ar, etc.,
- quando tirado de circulação, via força da lei, por motivo relevante; bens públicos de uso comum do povo.

As árvores de um parque nacional são consideradas de preservação permanente, o que as torna inapropriáveis e inalienáveis.

### **7.1.1. AS RESTRIÇÕES DA LEGISLAÇÃO FLORESTAL**

Normalmente ao se tratar da questão florestal faz-se referência ao Direito Florestal, o que se constitui num emprego incorreto de nomenclatura. Dentro do sistema jurídico brasileiro esse ramo do Direito não existe, pois para tal teria de dispor de autonomia legislativa, científica e didática.

A Constituição de 1988, Artigo 22, Letra “b”, Ítem I, mostra que “compete à União legislar sobre o Direito Civil, Comercial, Penal, Processual, Eleitoral, Agrário, Marítimo, Aeronáutico, Espacial e do Trabalho”.

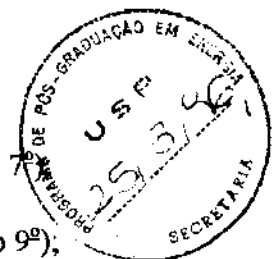
Tal posto é ao Direito Agrário que o Direito Florestal está subordinado. A autonomia legislativa do Direito Agrário só veio a ser obtida por este a partir da Emenda Constitucional Nº 10, de 09 de novembro de 1964, modificadora da Letra "a", do Ítem XV, do Artigo 5º da Constituição de 1946.

A Carta Magna estabelece ainda em seu Artigo 186 os requisitos a serem atendidos por uma propriedade florestal:

1. aproveitamento racional e adequado;
2. utilização adequada dos recursos naturais disponíveis e preservação do meio ambiente;
3. observância das disposições que regulam as relações de trabalho;
4. exploração que forneça o bem-estar dos proprietários e trabalhadores.

Porém no que se refere às restrições da propriedade florestal, estas aparecem explicitadas no Código Florestal. Pelo Código não são passíveis de apropriação:

- I. as florestas e demais formas de vegetação de preservação permanente, por efeito legal (Artigo 2º);
- II. as florestas e demais formas de vegetação de preservação permanente, declaradas por Ato de Poder Público (Artigo 3º);
- III. as florestas que integram o patrimônio indígena (# 2º, do Artigo 3º);
- IV. as florestas das unidades de conservação (Artigo 5º);
- V. as árvores declaradas imunes de corte, por Ato do Poder Público (Artigo 7º);
- VI. as florestas indivisas com outras e subordinadas a regime especial (Artigo 9º);
- VII. as florestas localizadas em áreas de inclinação entre 25º e 45º (Artigo 10º);
- VIII. as florestas primitivas da Bacia Amazônica (Artigo 5º);
- IX. as florestas que constituem cobertura florestal obrigatória (Artigos 16º e 44º).



## 7.2. O POTENCIAL ENERGÉTICO DAS FLORESTAS

Na abordagem da utilização de biomassa na forma de lenha para fins energéticos devem ser considerados três aspectos: o primeiro diz respeito ao potencial energético das florestas, isto é, quanto uma floresta é capaz de fornecer, em termos de material, para a utilização energética e como se dá essa quantificação. O segundo aspecto é o que se refere aos setores em que se emprega lenha ou carvão (industrial, residencial, etc.). E o terceiro é como se dá o transporte de lenha desde o local de extração até o local de transformação em carvão vegetal e daí para o consumo nos diversos setores.

Abordar-se-á aqui somente a questão da determinação do potencial energético de uma floresta, pois a questão do rendimento em lenha e carvão vegetal a nível de formação e/ou espécie vegetal foi discutida no Capítulo III.

A determinação do potencial energético das florestas deve, necessariamente, considerar o fim ao qual se destinará a lenha, (por exemplo, se ela será empregada na siderurgia ou no setor de cimento) de modo a permitir a gestão de políticas e programas que levem ao rendimento ótimo tanto de ritmo de exploração quanto de reflorestamento ambos de forma sustentada. Isto é especialmente válido para o caso das florestas plantadas, em que algumas espécies se prestam mais a um determinado fim que outras.

Em 1993 Camargos & Leroy desenvolveram uma metodologia para a determinação do potencial energético passível de ser aplicada tanto a florestas nativas quanto a florestas plantadas. Adaptando esta metodologia segundo as necessidades deste trabalho, esta consiste nos seguintes passos:

### **a) Florestas Plantadas:**

Inicialmente considera-se uma espécie vegetal (por exemplo eucalipto) cujo potencial energético, na forma de floresta, será determinado. Seguir-se-ia então a:

- a) determinar a destinação final da madeira (por exemplo, siderurgia);
- b) determinar as áreas a serem reflorestadas (por exemplo a periferia de um município);
- c) desconsiderar qualquer referência aos reflorestamentos anteriores a 1975, pois estes apresentaram baixa produtividade;
- d) determinar o incremento médio anual ( $\text{m}^3/\text{ha.ano}$ ) e potencial bruto por área ( $\text{m}^3/\text{ha}$ ) segundo a espécie vegetal escolhida (por exemplo, determinar estes coeficientes para o eucalipto);
- e) obter a disponibilidade anual de florestas por região planejada. Se for tomado o eucalipto como exemplo proceder-se-ia-se a multiplicação da área de reflorestamento pelo incremento médio anual para uma região, usando-se as relações  $0,7 \text{ m}^3/\text{st}$  e  $500 \text{ kg/st}$  (para a conversão de  $\text{m}^3/\text{ano}$  para  $\text{t/ano}$ );
- f) obter o potencial energético anual da lenha dessa floresta em  $\text{tEP/ano}^1$ , com vistas ao uso final. O potencial é obtido ao se multiplicar os valores do item e por  $0,306$  (que é o fator de conversão do poder calorífico superior da lenha<sup>2</sup> com  $3300 \text{ kcal/kg}$ ).

### **b) Florestas Nativas:**

Quanto às floresta nativas deve-se fazer uma distinção clara entre as áreas de preservação permanente e aquelas sujeitas a exploração. Esta distinção pode ser

<sup>1</sup> Na conversão de  $\text{tEP/ano}$  se considera  $1 \text{ tEP} = 10.800 \text{ Mcal}$ .

<sup>2</sup> Aqui se considera o PCS (poder calorífico superior) ao invés do PCI (poder calorífico inferior) devido a maioria dos trabalhos sobre carvão vegetal considerar que a lenha destinada ao carvoejamento apresenta uma média de 30% de umidade.



quantificada na forma de um fator denominado “fator de acessibilidade”, que é obtido ao se efetuar a relação entre potencial disponível para corte e potencial bruto, em função da cobertura vegetal. A cobertura vegetal considerada nesta relação necessita o conhecimento anterior dos incrementos médios anuais de todas as espécies que formam essa cobertura.

A metodologia compõe-se dos seguintes passos:

a) tomando-se a região de estudo, faz-se o mapeamento e inventário de toda a cobertura vegetal dessa região. Em seguida proceder-se-ia ao monitoramento periódico das áreas desmatadas;

b) após o inventário e a obtenção de dados anuais de demanda de lenha, efetua-se a determinação das áreas disponíveis para exploração;

c) determina-se a área total anual de cobertura nativa cortada, considerando-se a demanda dos diversos setores mais a de carvão vegetal. A determinação é feita tomando-se os incrementos médios anuais mais os percentuais de áreas liberadas anualmente em função do tipo de cobertura vegetal;

d) determinam-se as áreas remanescentes nativas, que são obtidas da diferença entre as áreas em função da cobertura obtida de inventários e as áreas cortadas em função da demanda;

e) determina-se então o fator de acessibilidade para as áreas (de demanda e de inventário) segundo a relação potencial para corte e potencial bruto. Os valores obtidos são aplicados às coberturas vegetais, a fim de serem obtidos os valores dos hectares disponíveis para exploração;

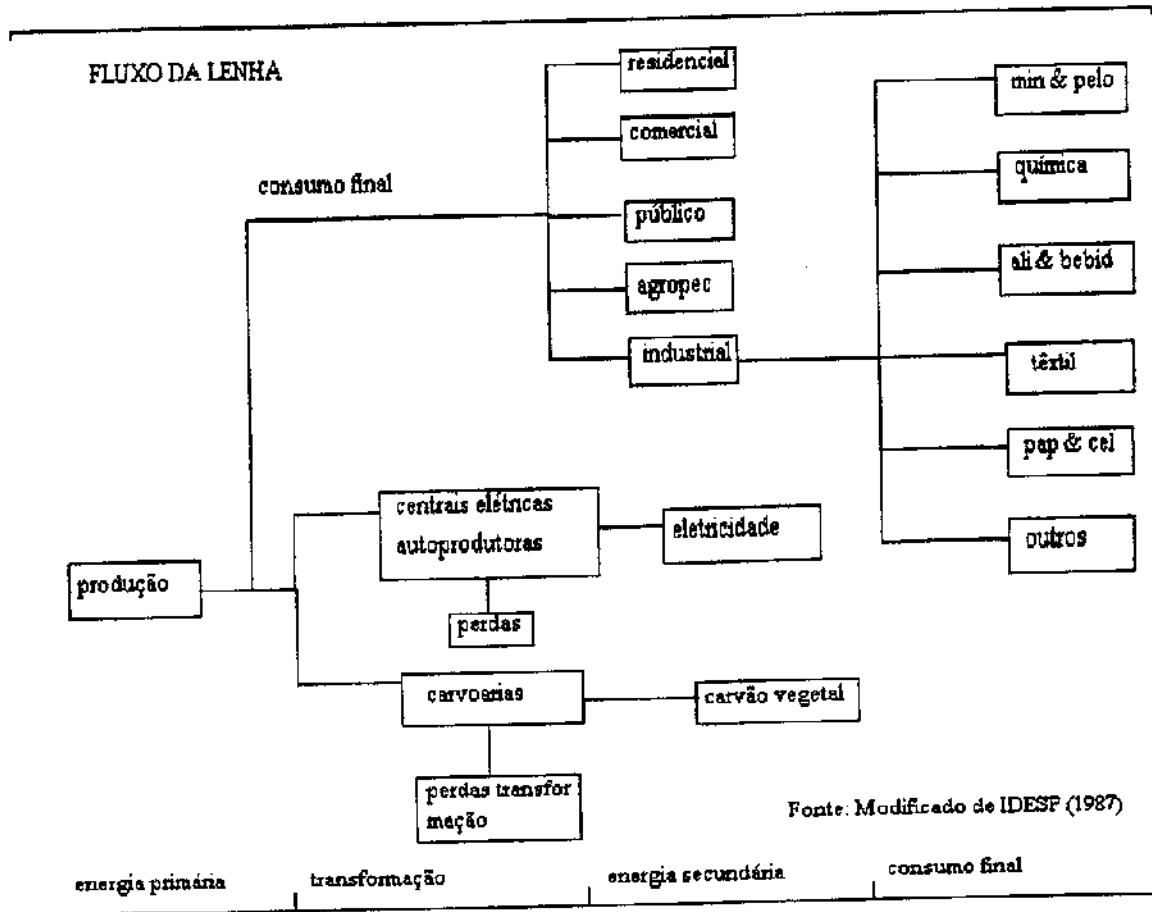
f) determina-se o potencial teórico anual sustentável ( $t/ano$ ), que é obtido da multiplicação do incremento médio anual ( $t/ha.ano$ ) segundo o tipo de cobertura, pelos valores em hectares dos recursos nativos disponíveis para exploração;

g) determina-se a área teóricamente utilizável de forma sustentada ( $ha/ano$ ), em função do tipo de cobertura vegetal e região pretendida. A determinação é feita através da relação dos valores do incremento médio anual (em  $t/ha.ano$ ) pelo potencial bruto por área (em  $t/ha$ ), o resultado é multiplicado pela área disponível para corte.

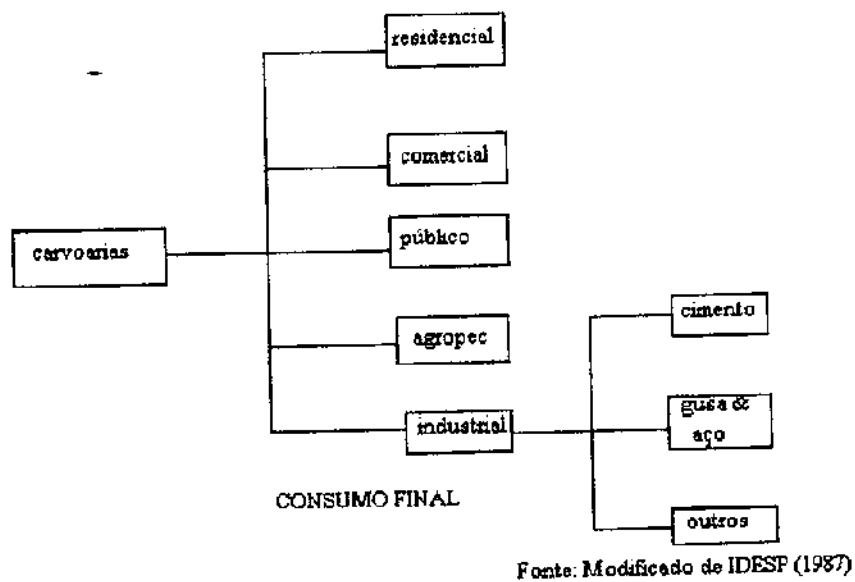
### 7.3. O FLUXO DA LENHA E DO CARVÃO VEGETAL

A fim de permitir um melhor entendimento das diversas fases envolvidas no emprego energético da lenha e do carvão vegetal foram desenvolvidas representações gráficas demonstrando o fluxo ocorrente, desde a extração do recurso, passando por sua transformação, até o seu emprego pelos diversos setores demandantes (residencial, industrial, etc.).

No caso deste trabalho, em que o ponto de interesse é o carvão vegetal, apresentam-se abaixo duas destas representações; uma mais detalhada para a lenha (considerando-se o carvão vegetal como produto da transformação da lenha) e outra que extraída do campo “carvoarias” (presente no fluxo da lenha) mostra o fluxo do carvão vegetal. Todavia a apresentação é com fins puramente ilustrativos, não cabendo aqui qualquer análise detalhada de qualquer um dos setores consumidores ou de processos de transformação que não estejam relacionados ao carvoejamento e emprego do carvão vegetal pela sidero-metalurgia, assunto que foi abordado em detalhe nos capítulos anteriores.



### FLUXO DO CARVÃO VEGETAL



#### 7.4. ASPECTOS TÉCNICOS DA PRODUÇÃO DE CARVÃO VEGETAL

Não se pode separar a questão da exploração das florestas com fins energéticos sem antes dar uma “vista d’olhos” na estrutura produtiva do carvão vegetal, de modo a perceber não só os fatores limitantes à exploração, mas também aqueles formadores do custo final do produto.

Sendo assim, vem à tona os diversos aspectos da produção de carvão vegetal, desde o ponto em que se corta a lenha até o carvoejamento, passando pela qualificação e quantificação das diversas etapas envolvidas nesse processo.

Embora o carvão vegetal já seja há muito assunto sobejamente discutido, todavia os métodos de discriminação das etapas de produção de carvão vegetal não o são. No início da década de oitenta, quando do auge das discussões e projetos relacionados a florestas energéticas, surgiu a metodologia desenvolvida por Castro (1981), que visava determinar os aspectos produtivos envolvidos no carvoejamento.

Posto isto, apresenta-se um breve painel a respeito da produção de carvão vegetal, o qual basear-se-á em coeficientes técnicos de produtividade mais o conhecimento do custo de mão-de-obra/hora para qualquer atividade, o que permite a composição do custo de produção do carvão em qualquer época<sup>3</sup>.

Levar-se-á também em consideração que estes coeficientes de produtividade se aplicam a uma floresta de eucalipto já estabelecida.

Segundo esta metodologia, uma planta de produção de carvão vegetal de eucalipto deve levar em consideração vários fatores, dentre estes os mais importantes são:

<sup>3</sup> Consideração feita por Castro (1981) quando da proposição da metodologia.

- característica temporal da produção (permanente ou temporária);
- qual o volume e a idade da floresta;
- tipo de topografia da área a ser explorada;
- onde fica a localização da floresta.

**quanto a característica temporal da produção:** deve se considerar um tipo de exploração em que seja possível se estabelecer a relação; área explorada anualmente igual a área plantada anualmente. Neste tipo de exploração comumente depara-se com dificuldades espaciais ou institucionais. Basicamente estas são: a) a dificuldade de se encontrar grandes áreas para exploração; b) o estabelecimento de um regime de plantio igual ao de exploração e; c) a falta de articulação institucional dos diversos órgãos florestais.

Quanto à exploração da floresta propriamente dita, esta pode ter os seus cortes estabelecidos desde um mínimo de um ano até um máximo de sete anos (último corte ao vigésimo primeiro ano, e no vigésimo segundo se inicia o corte do replantio efetuado no décimo quarto ano).

Também diretamente ligado à temporariedade da exploração florestal está a produção do carvão, que irá depender em maior ou menor grau do percentual de mecanização empregado na exploração da floresta<sup>4</sup> e da quantidade, qualidade e tipos de fornos de carbonização.

**quanto ao volume e idade da floresta:** o volume de floresta a ser cortado anualmente dependerá do conhecimento dos incrementos médios anuais obtidos a partir da realização do inventário florestal (para tal, pode-se empregar a metodologia

<sup>4</sup> O grau de mecanização depende da idade da floresta, quanto mais idade maior necessidade de mecanização (corte, carga, descarga e transporte).

desenvolvida por Camargos & Leroy op. cit., para determinação do potencial energético das florestas, citada no item 7.2), de modo a permitir o planejamento do carvoejamento (evitando-se excesso ou falta de carvão vegetal) e da exploração (evitando-se a falta ou excesso de floresta a ser explorada).

A área a ser cortada anualmente (equação 7.1) bem como a quantidade de carvão a ser produzida anualmente (equação 7.2) podem ser determinadas segundo as equações abaixo:

$$A = X.2 : i.I \quad (7.1)$$

$$X = A.i.I : 2 \quad (7.2)$$

onde:

x: carvão a produzir/ano ( $m^3$  /ano)

i: incremento da floresta (st/ha/ano)

I: idade da floresta (anos)

2: relação lenha/carvão st/ $m^3$

A: área a ser cortada anualmente (ha/ano)

**quanto a topografia:** em se considerando clima, precipitação, incremento da floresta, localização, qualidade e custos da terra, como invariáveis, os terrenos planos mostram-se os mais adequados. Todavia a modificação de um destes fatores pode favorecer a implantação da floresta em terreno acidentado<sup>5</sup>.

**quanto a localização da floresta:** basicamente a localização da floresta a ser explorada leva em conta os seguintes fatores: a) a distância ao local de uso final do carvão vegetal; b) presença ou ausência de incentivos fiscais; c) o preço da terra e; d) o tamanho da área.

De modo a facilitar a compreensão e visualização dos aspectos de uma planta de carvão vegetal, faz-se necessário o estabelecimento de alguns parâmetros que serão

<sup>5</sup> Silveira (1982) analisou a implantação de florestas em terrenos acidentados, definindo os seus limites espaciais e de exploração, bem como a produtividade, segundo os diversos cenários de exploração por ele discutidos.

utilizados ao longo da demonstração. Deve-se ter em mente que estes parâmetros são para fins de exercício, podendo estes ser alterados segundo a necessidade de cada projeto de produção de carvão vegetal. Posto isto os parâmetros são os seguintes:

- produção prevista 120 mil m<sup>3</sup> de carvão vegetal/ano;
- incremento da floresta 25 st/ha.ano;
- ciclos de corte ao sétimo, décimo quarto e vigésimo primeiro ano;
- relação st/ m<sup>3</sup> de carvão = 2;
- topografia plana;
- transporte de lenha por caminhão (carga e descarga manual).

Procede-se então agora à demonstração dos rendimentos e os coeficientes técnicos.

**a) rendimento de lenhamento:** refere-se a etapa de corte da madeira com moto-serra, sendo esta levada o mais próximo possível dos locais de carvoejamento no máximo 30 dias após o corte, de lá após 90 dias do corte, é transportada (rechejo) até a carbonização.

A lenha cortada não pode permanecer mais de 30 dias no mato sob o risco de prejudicar a brotação e a manutenção das outras árvores.

Os coeficientes de rendimento nesta etapa são:

rendimento de corte **R = 500 st/H.mês;**

rendimento de desgalha, limpeza e empilha **R = 200 st/H.mês;**

rendimento do transporte de lenha **R = 600 st/H.mês;**

rendimento do rechejo **R = 875 st/H.mês.**

**b) rendimento de carvoejamento:** adotam-se aqui fornos de superfície de 5 m de diâmetro, de capacidade de produção de 20 m<sup>3</sup> por fornada, com ciclo total de dez dias. A produção anual de carvão será de 120 mil m<sup>3</sup> /ano, e a mensal 10 mil m<sup>3</sup> /mês. O carregamento e descarga do forno mais o carregamento do caminhão serão manuais.

Para esta etapa os rendimentos correspondentes são:

- rendimento da carbonização  $R = 100 \text{ m}^3 / \text{H.mês}$ ;
- rendimento da carga do caminhão para transporte  $R = 750 \text{ m}^3 / \text{H.mês}$ .

Os coeficientes técnicos podem ser determinados tanto para a mão-de-obra quanto para os equipamentos. Iniciando-se pelos coeficientes técnicos de mão-de-obra ter-se-á:

- coeficiente técnico de corte  $CT = (240 \text{ H.h} : 500 \text{ st}) = 0,48 \text{ H.h/st}$ ;
- coeficiente técnico de desgalha, limpeza e enleiramento  $CT = (240 \text{ H.h} : 200 \text{ st}) = 1,2 \text{ H.h/st}$ ;
- coeficiente técnico de transporte de lenha  $CT = (240 \text{ H.h} : 600 \text{ st}) = 0,4 \text{ H.h/st}$ ;
- coeficiente técnico de recheio  $CT = (240 \text{ H.h} : 875 \text{ st}) = 0,27 \text{ H.h/st}$ ;
- coeficiente técnico de carbonização  $CT = 240 \text{ H.h} : 100 \text{ m}^3 = 2,4 \text{ H.h/ m}^3$ ;
- coeficiente técnico de carga do carvão  $CT = 240 \text{ H.h} : 750 \text{ m}^3 = 0,32 \text{ H.h/ m}^3$ .

Os coeficientes técnicos dos equipamentos são os seguintes:

- coeficiente técnico de corte  $CT = (240 \text{ eq.h} : 500 \text{ st}) = 0,48 \text{ eq.h/st}$ ;
- coeficiente técnico de transporte (caminhão)  $CT = (240 \text{ eq.h} : 2400 \text{ st}) = 0,1 \text{ eq.h/st}$ ;
- coeficiente técnico de recheio (caminhão)  $CT = (240 \text{ eq.h} : 3500 \text{ st}) = 0,07 \text{ eq.h/st}$ .



Os equipamentos por sua vez podem ter os seus custos operacionais determinados. Ao se tomar como equipamentos-base a moto-serra, o caminhão o patrol e a carregadeira e aplicando-se a equação abaixo (equação 7.3)<sup>6</sup> a partir da qual os custos operacionais serão obtidos, fazendo-se a desagregação desta:

$$CO = 0,156 A.B + 0,0001 P + 1,518 b \quad (7.3)$$

onde:

A: potência do motor  
 B: preço do combustível  
 P: preço do equipamento  
 b: salário-hora do operador.

Além dos custos operacionais, rendimentos e coeficientes técnicos, a escala de mão-de-obra também pode ser quantificada, a partir da equação geral (equação 7.4), e depois particularizada segundo a etapa:

$$MDO = CT. produção prevista ao mês \quad (7.4)$$

**quantificação da mão-de-obra para o lenhamento:**

- para corte  $MDO = [0,48 \text{ H.h/st} \cdot (20.000 \text{ st} : 240 \text{ h})] = 40 \text{ homens};$
- para desgalha, limpeza e enleiramento  $MDO = [1,2 \text{ H.h/st} \cdot (20.000 \text{ st} : 240 \text{ h})] = 100 \text{ homens};$
- para transporte  $MDO = [0,4 \text{ H.h/st} \cdot (20.000 \text{ st} : 240 \text{ h})] = 32 \text{ homens};$
- para recheio  $MDO = [0,27 \text{ H.h/st} \cdot (20.000 \text{ st} : 240 \text{ h})] = 23 \text{ homens}.$

**quantificação mão-de-obra para o carvoejamento:**

- para a carbonização  $MDO = [2,4 \text{ H.h/ m}^3 \cdot (10.000 \text{ m}^3 : 240 \text{ h})] = 100 \text{ homens};$

<sup>6</sup> Castro (op. cit.) apresenta a equação 7.3 sem unidades. Acredita-se que as unidades sejam: A (HP), B (US\$/l), P (US\$/unidade) e b (US\$/hora).

para a carga do caminhão  $MDO = [0,32 \text{ H.h/ m}^3 \cdot (10.000 \text{ m}^3 : 240 \text{ h})] = 13 \text{ homens}$ .

#### quantificação dos equipamentos:

- para a produção de lenha  $EQ = [0,48 \text{ eq.h/st} \cdot (20.000 \text{ st} : 240 \text{ h})] = 40 \text{ moto-serras}$ ;
- para o transporte de lenha  $EQ = [0,1 \text{ eq.h/st} \cdot (20.000 \text{ st} : 240 \text{ h})] = 8 \text{ caminhões}$ ;
- para o recheio  $EQ = [0,07 \text{ eq.h/st} \cdot (20.000 \text{ st}/240 \text{ h})] = 6 \text{ caminhões}$ .

#### quantificação dos fornos:

- período de carbonização de 10 dias;
- produção de carvão vegetal por fornada  $20 \text{ m}^3$  ;
- produção de carvão vegetal mensal por forno  $60 \text{ m}^3$ ;
- P: sendo a produção total de carvão/mês;
- p: sendo a produção total de carvão por forno;
- N: número necessário de fornos, tem-se:

$$N = P/p = 10.000/60 = 167 \text{ fornos}$$

Os equipamentos aqui considerados apresentam vida útil de dois anos para os fornos e moto-serras e cinco anos para o restante. O nível de utilização dos equipamentos e o de manutenção é de 50% (para carvoejamento e lenhamento).

Apenas para fechar a exposição dos aspectos de uma planta de carvão vegetal, será abordada brevemente a questão da composição dos custos operacionais de lenhamento e carvoejamento, seguindo-se ainda a metodologia divulgada por Castro (op.cit.).

Basicamente a composição do custo operacional de lenhamento (dado em st de lenha) se dá segundo a somatória das seguintes parcelas:

## **mão-de-obra + equipamentos**

A parcela de mão-de-obra se decompõe em corte, desgalha, transporte, recheio, manutenção e encargos sociais. Já a parcela equipamentos compreende corte, transporte, recheio, manutenção e depreciação.

A composição do custo direto operacional também se dá segundo a somatória de mão-de-obra + equipamentos, porém a decomposição das parcelas mostra para mão-de-obra a carbonização, transporte, manutenção, encargos sociais. Já a parcela equipamentos mostra apenas manutenção e depreciação.

Segundo Castro (op. cit.) a metodologia anteriormente exposta permite a composição do custo do carvão em qualquer situação, em se tratando de um floresta de eucalipto já estabelecida. Todavia, alguns parâmetros apresentados não permitem adaptar essa metodologia integralmente a outras situações, ou porque o autor não menciona a forma como o parâmetro foi obtido, ou por dar a entender que o parâmetro é uma média histórica obtida ao longo de vários anos de exploração de florestas de eucalipto.

A crítica inicial ao emprego da metodologia supra-citada, é a ausência da definição do número de árvores por hectare, embora saiba-se que uma floresta explorada em ciclo de vinte e um anos. Esta ausência prejudica a determinação do coeficiente de rendimento (st/H.mês), sendo este aparentemente apresentado como uma média histórica. O mesmo ocorre com os coeficientes referentes a transporte e recheio, e os respectivos volumes a serem transportados por caminhão. Tampouco os coeficientes

relativos a mão-de-obra e dimensionamento podem ser conhecidos sem ter-se em mãos o rendimento de corte (st/H.mês).

Embora a princípio a metodologia proposta por Castro (op. cit.) seja passível de aplicação, deve-ser ressaltar que é parte imprescindível, em se tratando do emprego metodológico correto, que seja determinado o coeficiente de rendimento de corte (de madeira por homem) e o de carga (volume a ser transportado por caminhão).

Assim, devido a impossibilidade de emprego metodológico, passou-se a uma abordagem simplificada da proposta por Castro (op.cit.), baseada em dados coletados junto a órgãos e fundações que tratam da questão florestal. A mesma ocorrerá no item seguinte, na forma de uma proposta de cálculo do custo de carvão vegetal de floresta de eucalipto, com ciclo de exploração de vinte e um anos, e um ciclo alternativo de exploração de quinze anos.

## **7.5. A EXPLORAÇÃO DA FLORESTA NATIVA**

A exploração da floresta nativa pela indústria sidero-metalúrgica está baseada em dois pontos primordiais: a) facilidade de acesso à matéria-prima nativa, que possui custo zero de plantio, incorporando apenas custos de corte, transporte e carvoejamento; e b) o reconhecimento institucional por parte do Governo Federal que as matas se constituíam em recurso passível de exploração pela indústria.

A partir da instalação da sidero-metalurgia no Brasil, os produtores logo reconheceram que era bem mais vantajoso empregar o carvão vegetal para termo-redutor no lugar do carvão mineral. Afinal o carvão nacional não era de boa qualidade, este deveria ser substituído pelo importado (de bom preço, mas incorporando custos de

extração, transporte ,etc.,). Todavia surgiu a possibilidade de acesso à massa florestal abundante (naquela época) o que permitiria o emprego de insumo industrial a custo baixíssimo<sup>7</sup>. E assim sucedeu, inicialmente pela indústria de Minas Gerais e depois pelos pólos industriais seguintes. Porém um novo impulso ao emprego de carvão vegetal foi dado nos anos setenta quando das gestões de efetivação do pólo guseiro de Carajás. A CVRD encomendou um estudo que objetivava determinar o potencial e a viabilidade de exploração da mata localizada na área do que viria a ser o PGC. Este estudo foi concomitantemente com a resolução do Governo Federal que “recomendava”o emprego de lenha e carvão vegetal pela indústria componente do Grande Carajás. O resultado do estudo destacou quatro pontos:

1. o carvão nacional era inadequado ao uso por parte da sidero-metalurgia. Apresentava excesso de finos (chegando até 60%) e teor alto de enxofre<sup>8</sup>;
2. o carvão vegetal permitia um melhor rendimento em gusaria e produção de aço que o carvão mineral nacional e o importado;
3. o aço produzido a partir de carvão vegetal foi considerado de excelente qualidade;
4. havia disponibilidade de acesso a uma enorme massa florestal, com custo zero de plantio, baixo custo de transporte (dentro da área do projeto) e baixo custo de corte (tarefa capaz de se conduzida por mão-de-obra não qualificada) mais o aval governamental ao uso de florestas nativas.

Este conjunto de fatores desencadeou um processo de exploração semelhante ao ocorrido décadas antes no vale do Rio Doce em Minas Gerais, que resultou na quase total desertificação da região. Alguns anos depois surgiram preocupações relacionadas a

---

<sup>7</sup> Ver Capítulo I - Introdução.

<sup>8</sup> Os padrões aceitos internacionalmente variam entre 13 a 15% de cinzas e entre 3 a 5% de enxofre.

exploração de florestas nativas que se concretizaram na forma de restrições legais à exploração ou na tentativa de estabelecimento de políticas de incentivo ao reflorestamento. Porém o fator mais relevante incorporado à esta problemática, nos últimos anos, foi patrocinado pela Comunidade Européia, que instituiu um dispositivo legal em 1991 que tratava da compra de ferro-gusa brasileiro. O dispositivo estabelece que a partir de 1997 somente será adquirido o gusa produzido a partir de madeira oriunda de reflorestamento. Como o mercado europeu é um dos mais importantes, os produtores de gusa passaram a correr contra o tempo a fim de criarem o máximo de plantações antes desta data fatal, e embora a participação do carvão vegetal de madeira reflorestada tenha crescido nos últimos anos<sup>9</sup>, a porcentagem de carvão vegetal de floresta nativa ainda está em torno de 60%.

Todavia, a exploração da mata nativa para a produção de carvão vegetal está longe de ser descartada. Afinal o grande volume de produtores de carvão vegetal para gusaria é composto de pequenos produtores, que muitas vezes vêm a exploração florestal como única fonte de renda. A fim de não agravar mais ainda a já precária situação dessa parcela da população, dever-se-ia promover o paulatino desenvolvimento da exploração sustentada como alternativa a atual forma de exploração frequentemente predatória.

Esta exploração sustentada se daria num contexto de conhecimento do rendimento das diversas formações florestais empregadas para carvoejamento e tempo de recuperação de cada uma delas, de modo a obter um rendimento ótimo dentro de intervalos de tempo que permitissem a recuperação da vegetação naturalmente.

---

<sup>9</sup> Ver Capítulo II

Rezende (1981) elaborou um quadro síntese dos potenciais de exploração das diversas formações florestais brasileiras (Tabela 7.1):

Tabela 7.1 - Produção sustentada de lenha (st/ha) para diversas formações florestais

| Formação florestal        | Taxa de regeneração (anos) | Produção st/ha |       |        |
|---------------------------|----------------------------|----------------|-------|--------|
|                           |                            | Máxima         | Média | Mínima |
| Floresta de eucalipto (*) | 20 a 21                    | 650            | 500   | 360    |
| Mata                      | 15 a 20                    | 270            | 222   | 174    |
| Cerradão                  | 15 a 20                    | 218            | 175   | 135    |
| Cerrado                   | 8 a 10                     | 122            | 94    | 65     |
| Cerradinho                | 6 a 8                      | 115            | 51    | 27     |
| Caatinga                  | 5 a 6                      | 70             | 50    | 25     |

Fonte: Rezende (1981)

(\*) com três cortes durante o ciclo de exploração

## 7.6. A FLORESTA PLANTADA

Na abordagem da problemática da floresta plantada deve se prender basicamente ao conhecimento de três pontos:

O primeiro diz respeito as etapas necessárias ao plantio da floresta. O segundo ao gerenciamento-e tempo de corte, que por sua vez guardam relação como uso final que se dará a madeira. Finalmente o terceiro é a determinação do custo da lenha e do carvão vegetal produzido.

### 7.6.1. ETAPAS

As etapas necessárias ao plantio de floresta secundária se distribuem ao longo de seis passos, que são (Reis & Reis, 1993):

- preparação de mudas;
- preparação do solo:
  - a) desmate

- b) aragem
- c) calagem;
- sulcamento e marcação final do solo (segundo o uso final da madeira);
- plantio;
- proteção e cuidados posteriores ao plantio;
  - a) replantio
  - b) controle de pragas
  - c) poda
  - d) desmate;
- manejo, exploração e transporte.

O plantio também implica num número mínimo de árvores por hectare. Normalmente o plantio padrão é de 1667 árvores/ha, ocorrendo uma perda média de 300 árvores. Da mesma forma existe o regime de cultivo mínimo, em que tem-se uma densidade média de 15-25 árvores/ha (1-2 espécies/ha).

Os insumos relacionados a essas seis etapas são os seguintes (Fundação Florestar, 1994):

- mudas (para plantio e replantio);
- adubo;
- herbicida;
- formicida granulado;
- aldrin 5%;
- outros.



Já para efeitos de manutenção da floresta de eucalipto, os insumos são os seguintes:

- adubo;
- calcário;
- herbicida;
- formicida granulado;
- outros.

O emprego de insumos em regime de cultivo mínimo, se dá segundo uma série de atividades que são:

- manutenção de estradas;
- manutenção de cercas;
- combate a formiga;
- coveamento;
- plantio (tratores e mão-de-obra);
- replantio;
- irrigação (tratores e mão-de-obra);
- aldrinização;
- adubação;
- aplicação de herbicidas;
- capinagem;
- outros.

Já para manutenção os insumos se distribuem por:

- adubação;

- aplicação de calcário;
- aplicação de herbicida;
- manutenção de estradas;
- manutenção de cercas;
- combate a formiga;
- aceiros;
- outros.

Embora seja possível a quantificação em US\$/ha dos insumos e passos descritos acima, estes todavia serão desconsiderados em grande parte no cálculo do custo da lenha e posteriormente do custo do carvão vegetal, pois será dada ênfase a outros parâmetros de custo além destes. Todavia, para fins de ilustração apresenta-se aqui esta quantificação para o plantio de florestas em regime de cultivo mínimo (Região Sudeste ano base 1993).

| <b>Discriminação</b>                          | <b>US\$/ha</b> |
|---|----------------|
| custo dos insumos                             | 291.17         |
| manutenção anual                              | 11.78          |
| emprego dos insumos                           | 320.00         |
| atividades de manutenção                      | 141.22         |
| custo de implantação de floresta de eucalipto | 612.00         |

Fundação Florestar (1994)

O custo de manutenção em regime de cultivo mínimo seria:

- US\$/ha 273,00 para o primeiro ano (manutenção + replantio);
- US\$/ha 153,00 para o segundo ano;
- US\$/ha 153,00 para o terceiro ano e assim por diante até o fim do ciclo.

## 7.6.2. GERENCIAMENTO E TEMPO DE CORTE DA FLORESTA

A opção por ciclos de exploração de quinze ou vinte e um anos pode implicar numa ação de exploração anti-econômica, mesmo que esta exploração se dê quando a árvore já tenha atingido a maturidade silvicultural, isto é, pode ser explorada.

Por exemplo, alguns projetos de reflorestamento, realizados em áreas em torno de 5 mil ha, consideram um período de primeiro corte em torno de 40 a 45 meses (respectivamente 3,33 a 3,75 anos) para eucalipto.

Nessa idade, as características do eucalipto como matéria-prima para carvão vegetal já estão quase que totalmente definidas, porém a partir do quinto ano é que os compostos presentes na madeira terão sua concentração realmente estabelecida, permitindo uma melhor recuperação, e a madeira sofrerá o maior adensamento permitindo uma maior razão st/ha<sup>10</sup>.

As características do eucalipto com idade em torno de três anos<sup>11</sup> comparadas as do óleo combustível e ao carvão mineral podem ser acompanhadas na Tabela 7.2:

Tabela 7.2 - Características de diferentes espécies de eucalipto em torno dos três anos de idade

| Espécies             | Volume sólido (m <sup>3</sup> /ha) | Densid. básica (t/ha) | Peso seco (t/ha) | Poder calorífico (Kcal/ha) (*) | Equivale em OC (t/ha) (**) | Equivale em carvão mineral (t/ha) (***) |
|----------------------|------------------------------------|-----------------------|------------------|--------------------------------|----------------------------|---|
| <i>E. saligna</i>    | 104                                | 0.403                 | 41.91            | 125.9x10 <sup>6</sup>          | 12                         | 30.8                                    |
| <i>E. grandis</i>    | 100.3                              | 0.386                 | 38.71            | 116.1 x10 <sup>6</sup>         | 11                         | 28.5                                    |
| <i>E. urophylla</i>  | 65.1                               | 0.457                 | 29.75            | 89.2 x10 <sup>6</sup>          | 8.5                        | 21.9                                    |
| <i>E. robusta</i>    | 56.3                               | 0.425                 | 23.92            | 71.7 x10 <sup>6</sup>          | 6.8                        | 17.6                                    |
| <i>E. propinqua</i>  | 46.6                               | 0.508                 | 23.67            | 71 x10 <sup>6</sup>            | 6.8                        | 17.4                                    |
| <i>E. citriodora</i> | 41.2                               | 0.536                 | 22.08            | 66.2 x10 <sup>6</sup>          | 6.3                        | 16.2                                    |

Fonte: Migliorini et al., (1980) apud Rezende (1981)

(\*) poder calorífico médio da madeira 3.000 Kcal/kg, com 30% de umidade;

(\*\*) poder calorífico 10.000 Kcal/kg;

(\*\*\*) poder calorífico 4.800 Kcal/kg.

<sup>10</sup> Ver o Capítulo III que trata das características do carvão vegetal e dos compostos presentes na madeira.

<sup>11</sup> A madeira na realidade pode ser cortada em qualquer idade para fazer carvão, todavia num prazo inferior a cinco anos se perderá volume e constituintes. O corte aos três anos pode resultar em muita lenha para carvoeiar, porém com pouca densidade e quase nenhum composto passível de recuperação.

Obviamente uma floresta de eucalipto que vise o máximo de retorno em termos de matéria-prima deverá se preocupar com a questão relacionada ao tempo adequado do primeiro corte, normalmente sete anos após o plantio, e a respectiva produtividade por hectare. Como já supracitado, após o quinto ano é que ocorre o adensamento da madeira, o que irá permitir um rendimento maior por hectare, do que o rendimento obtido ao terceiro ano.

A produtividade média admitida para o Brasil está em torno de 25 st/ha/a<sup>12</sup>, porém é comum se encontrar produtividades médias inferiores a 20 st/ha/a. Alguns projetos de reflorestamento, que dispõem de recursos à monta e usam o carvão vegetal na cadeia de insumos ao aço, conseguem produtividades bem acima desses valores.

Thibau (1982) cita o projeto conduzido pela Florestas Rio Doce S.A., na região do rio Doce em Minas Gerais e Espírito Santo, em que numa área de mais de 80 mil ha o rendimento ultrapassa 35 st/ha/a.

Neste trabalho considera-se como produtividade média o valor de 35st/ha.ano, que é o valor que será empregado no item 7.6.3.

A partir do rendimento apresentado por este projeto florestal, o autor acima citado resolveu determinar quanto representaria em ha a substituição de óleo combustível por biomassa.

Para substituir o consumo de 25 mil m<sup>3</sup> OC/a, seria necessário o plantio de 225 mil st/a, ou seja, uma área plantada de 8 842 ha, para ciclo de exploração de vinte e um anos. Sendo que nos primeiros sete anos a taxa de plantio seria de 900 ha/ano e ao final dos vinte e um anos a reforma da área exigiria um mínimo anual de 673 ha/ano.

<sup>12</sup> Dados globais desconsiderando condições locais de clima, solo, etc..

Por estes números pode-se ver que o espaço físico a ser ocupado por um plantio é um dos mais importantes fatores limitantes, embora frequentemente não seja citado, entretanto está sempre latente.

### **7.6.3. O CUSTO DA LENHA E DO CARVÃO VEGETAL DE FLORESTA HOMOGÊNEA DE EUCALIPTO**

Neste item ao se tomar alguns parâmetros citados mais à frente, pode-se fazer o cálculo do custo da lenha produzida em floresta de eucalipto e o custo do carvão obtido dessa madeira. Todavia este cálculo-demonstração é bastante limitado, pois embora seja fundamentado em dados reais, não considera alguns parâmetros em relação a outros, o que simplifica a mecânica: plantio + extração + carvoejamento, evitando referências aos coeficientes técnicos do item 7.4, bem como aos custos de transporte e de carvoejamento citados em literatura.

O objetivo aqui é em se conhecendo o valor da terra para reflorestamento, o rendimento, o valor do corte, de implantação, manutenção e replantio, em regime de cultivo padrão, determinar-se o custo da lenha e posteriormente do carvão.

A fim de dar prosseguimento ao exercício, todos os parâmetros referem-se a Região Sudeste<sup>13</sup>, porém a abordagem metodológica aqui apresentada pode ser empregada para qualquer região, desde que conhecidos os parâmetros empregados no exercício.

---

<sup>13</sup> Quando da pesquisa bibliográfica foi verificado que apenas a Região Sudeste, e por conseguinte nos pontos em que se encontram pólos guseiros ou projetos de reflorestamento, apresenta a sistematização de dados referentes a reflorestamento e carvoejamento associados.

Antes de se proceder ao exercício faz-se necessário a apresentação de parâmetros ilustrativos que permitirão variações de cálculo à metodologia do exercício a ser apresentado mais à frente.

Estes parâmetros são (Fundação Florestar, op. cit.):

- valor da terra nua para reflorestamento (1993):

mínimo 40,16 US\$/ha

máximo 8.031,51 US\$/ha

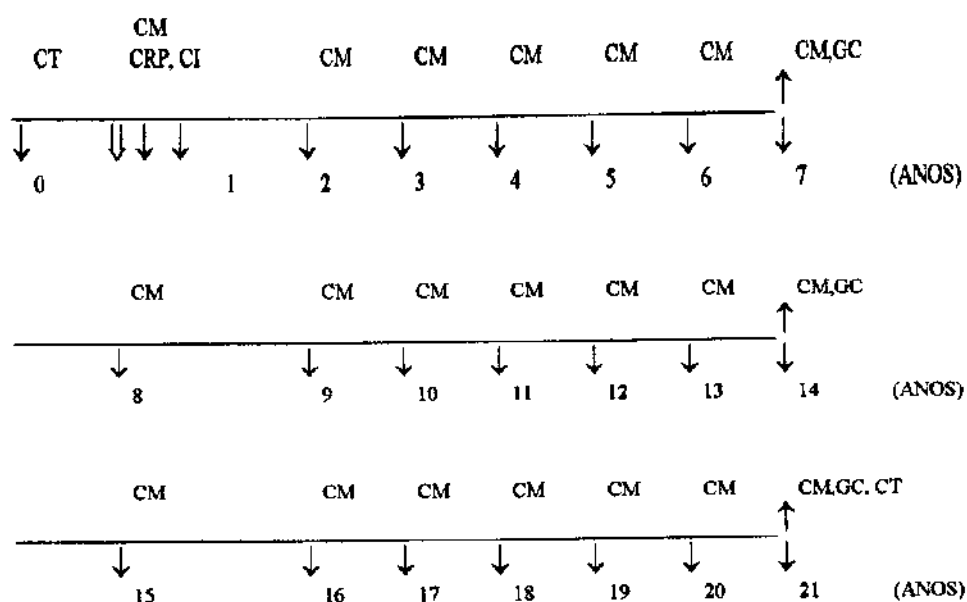
médio 1.512,61 US\$/ha

- corte de lenha 2,29 (US\$/st);
- transporte de lenha 5,65 (US\$/st);
- custo de carvoejamento 16,67 (US\$/m<sup>3</sup>);
- fator de conversão (1 st = 0,61 m<sup>3</sup>);
- custo de carvoejamento (corte + transporte + carvoejamento) 18,5 US\$/st;
- rendimento médio do eucalipto 35 m<sup>3</sup>/ha.ano (401,63 st/ha para ciclos de exploração de 21 anos e 286,85 st/ha para ciclos de 15 anos);
- custo de implantação, para primeiro ano, 400 US\$/ha;
- custo de manutenção, anual, 135 US\$/ha;
- custo de replantio, para primeiro ano, 6,50 US\$/ha.

Após a apresentação destes parâmetros, proceder-se-á ao exercício. Inicialmente estabelecer-se-á que para os ciclos de corte aqui abordados (ciclo clássico de vinte e um anos e alternativos de quinze anos) ter-se-á três taxas de atualização distintas (10%, 12% e 15% a.a.), que serão aplicadas no cálculo do custo da lenha/t obtida num hectare.

Tendo-se já estes parâmetros, os mesmos são dispostos inicialmente num diagrama de fluxo de caixa, considerando-se um ciclo de 21 anos:

### FLUXO DE CAIXA - CUSTO DA LENHA, CICLO DE EXPLORAÇÃO DE 21 ANOS



onde:

CT: custo da terra;  
 CI: custo da implementação;  
 CM: custo de manutenção;  
 GC: ganhos de corte;  
 CRP: custo de replantio.

Neste diagrama vê-se que o CM (custo de manutenção) ocorre desde o 1º ano até o 21º ano. Já o CRP (custo de replantio) se dá somente no 1º ano e que GC (ganhos de corte) ocorre no (7º ano, 14º ano, 21º ano).

Ainda a partir do digrama de fluxo de caixa para a lenha pode-se observando os três períodos de corte( 7º ano, 14º ano, 21º ano) e os parâmetros acima, montar-se a equação seguinte cuja incógnita é o custo da lenha (C dado em US\$/t) extraída de floresta plantada:



$$[Pa \cdot Dc \cdot (C - Cc)] [(1+i)^{-Dc} + (1+i)^{-2Dc} + (1+i)^{-3Dc}] = Cm (P/A, i, 3Dc) + (Ci + Crp + Cm) (1+i)^{-1} + Ct [(1+i)^{-1} - (1+i)^{-3Dc}], \text{ logo}$$

$$C = \{ [Cm (P/A, i, 3Dc) + (Ci + Crp + Cm) (1+i)^{-1} + Ct [(1+i)^{-1} + (1+i)^{-3Dc}] : [(1+i)^{-Dc} + (1+i)^{-2Dc} + (1+i)^{-3Dc}] + PaCc \} : (PaDc) \quad (7.5)$$

onde:

Pa: produtividade st/ha.ano do eucalipto;

C: custo da lenha (incógnita);

Cc: custo do corte;

i: taxa;

Dc: período de corte;

Cm: custo de manutenção;

Crp: custo de replantio;

Ci: custo de implantação;

Ct: custo da terra;

(P/A, i, 3Dc): fator que dá o valor presente de uma série anual uniforme.

A partir da equação acima aplicando-se as taxas de 10%, 12% e 15%, sendo o Ct (preço médio US\$/ha 1.512, 61) e Pa.Dc (401, 63 st/ha) obter-se-á os seguintes valores para lenha (US\$/t), para ciclos de exploração de vinte e um anos:

| Taxa | Lenha (US\$/t) |
|------|----------------|
| 10%  | 10.48          |
| 12%  | 11.99          |
| 15%  | 14.54          |

Ao se alterar Dc para 5, ou seja, um ciclo de exploração de quinze anos (considerado como uma alternativa ao ciclo de vinte e um anos), porém mantendo-se o mesmo Ct, todavia sendo Pa.Dc = 286, 85 st/ha, ter-se-á os seguintes valores para o custo da lenha:

| Taxa | Lenha (US\$/t) |
|------|----------------|
| 10%  | 8.79           |
| 12%  | 9.87           |
| 15%  | 11.75          |



O custo da lenha de floresta plantada também pode ser determinado segundo a variação de Ct para o valor máximo (US\$/ha 8.031, 51) ou mínimo (US\$/ha 40, 16). Assim o custo da lenha será, segundo Ct mínimo (considerando os dois ciclos de exploração de vinte e um e de quinze anos):

| Taxa | Lenha (US\$/t) - 21 anos | Lenha (US\$/t) - 15 anos |
|------|--------------------------|--------------------------|
| 10%  | 6.96                     | 5.57                     |
| 12%  | 7.48                     | 5.89                     |
| 15%  | 8.32                     | 6.44                     |

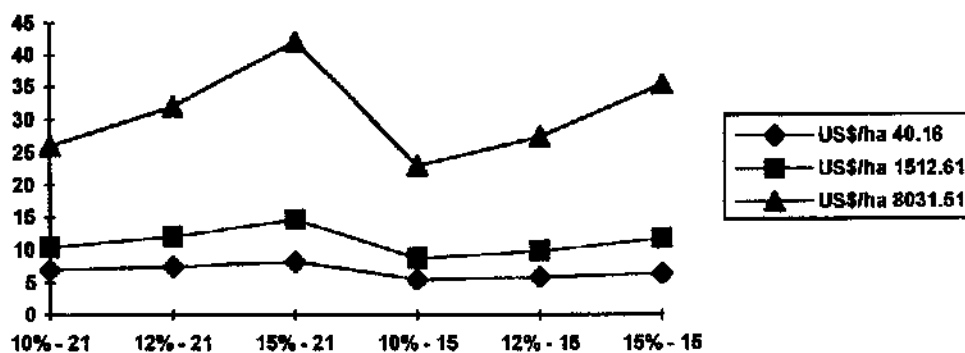
Fazendo Ct máximo (US\$/ha 8.031, 51) o custo da lenha de floresta plantada será de (para ciclos de exploração de vinte e um e de quinze anos):

| Taxa | Lenha (US\$/t) - 21 anos | Lenha (US\$/t) - 15 anos |
|------|--------------------------|--------------------------|
| 10%  | 26.86                    | 23.02                    |
| 12%  | 31.95                    | 27.45                    |
| 15%  | 42.07                    | 35.28                    |

A fim de se melhor visualizar a variação do custo da lenha segundo Ct, todos os valores foram dispostos no **Gráfico 7.1** abaixo:

GRÁFICO 7.1

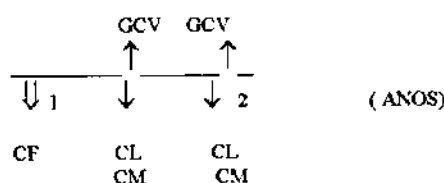
VARIAÇÃO DO CUSTO DA LENHA DE FLORESTA PLANTADA SEGUNDO O CUSTO DA TERRA PARA REFLORESTAMENTO (US\$/A)



A partir dos valores obtidos para a lenha, pode-se determinar o custo do carvão vegetal produzido a partir de lenha de floresta plantada.

Todavia antes de se proceder ao cálculo é oportuno dar uma vista d'olhos no diagrama de fluxo de caixa para um forno de carvoejamento tipo "rabo-quente" que será útil à mecânica do exercício:

#### FLUXO DE CAIXA - CUSTO DO CARVÃO VEGETAL (VIDA ÚTIL DO FORNO DE CARVOEJAMENTO 2 ANOS)



onde:

CF: custo do forno;  
 CL: custo da lenha;  
 CM: custo de manutenção;  
 GCV: ganhos com carvão vegetal.

O tempo de vida útil do forno mostrado pelo diagrama é de dois anos, sendo que a produção de carvão vegetal é considerada como um total mensal (total do mês representado pelo número um e treze, sendo quatro saídas de carvão/mês) repetido doze vezes (total do ano, representado pelo ano um e ano dois). A cada mês também existe a entrada de lenha para a produção de carvão (representado por CL e que irá se repetir doze vezes ao ano, sendo que são quatro entradas de lenha/mês).

A partir então da observação do diagrama de fluxo de caixa para o forno de carvoejamento, pode-se produzir a seguinte equação:

$$C_{cv} = [(C_{if} \times FRC) : (C_f \times F_c)] + (C_l : \eta) + C_{O\&M} \quad (7.6)$$

onde:

$C_{cv}$ : custo do carvão vegetal (incógnita);  
 $C_{if}$ : custo do investimento em forno;  
 $F_c$ : fator de capacidade;  
 $FRC$ : fator de recuperação de capital;  
 $C_l$ : custo da lenha (US\$/t);  
 $\eta$ : rendimento (t carvão/t lenha);  
 $C_{O\&M}$ : custo operação e manutenção.

Tomando-se os valores da lenha por tonelada obtidos do cálculo anterior (segundo cada taxa de juro), mais os seguintes parâmetros:

- Cif: US\$/forno 229,5;
- Cf: t/ano 192;
- Fc: 0,8;
- FRC (A/P, onde  $i = 10\%$ ,  $12\%$  e  $15\%$  a.a.,  $n = 2$ );
- Co&M: US\$/m<sup>3</sup> 3,5 (US\$/t 14,00), sendo que se considera aqui uma bateria de 10 fornos, com 4 homens para operá-la (1 cuida do carvoejamento, 2 da carga e descarga e 1 da manutenção do forno fazendo a barrela), então 0,4 homens/forno. Ora 1 homem recebe US\$/mês 100,00 (salário-mínimo) x 1,4 (encargos sociais) = US\$/mês 140,00. Logo, de cada forno se tem US\$/mês 56,00 (140 x 0,4). Como são consideradas 4 fornadas/mês (ciclo de sete dias, sendo 3 dias de carvoejamento, 3 de resfriamento e 1 para carga e descarga do forno mais manutenção-barrela), logo Co&M = US\$ 14,00;
- $\eta$  : 0,3 (rendimento toneladas de carvão vegetal/toneladas de lenha).

Procede-se então ao cálculo do custo do carvão vegetal produzido com lenha de floresta plantada (ciclo de vinte e um anos e ciclo alternativo de quinze anos), tomando-se os valores de custo de lenha obtidos por meio da variação do custo da terra para reflorestamento.

Os valores de carvão vegetal obtidos (US\$/ t), para ciclos de vinte e um anos,  $\eta = 0,3$ , são os seguintes:

| Taxa | Ct US\$/ha 40.16 | Ct US\$/ha 1512.61 | Ct US\$/ha 8031.51 |
|------|------------------|--------------------|--------------------|
| 10%  | 55.23            | 76.09              | 168.55             |
| 12%  | 57.84            | 84.29              | 201.33             |
| 15%  | 61.94            | 97.78              | 256.44             |

Para um ciclo de exploração de 15 anos,  $\eta = 0,3$ , os custos (US\$/ t) são os seguintes:

| Taxas | Ct US\$/ha 40.16 | Ct US\$/ha 1512.61 | Ct US\$/ha 8031.51 |
|-------|------------------|--------------------|--------------------|
| 10%   | 46.99            | 66.08              | 150.42             |
| 12%   | 48.52            | 71.64              | 174.94             |
| 15%   | 51.10            | 81.69              | 217.31             |

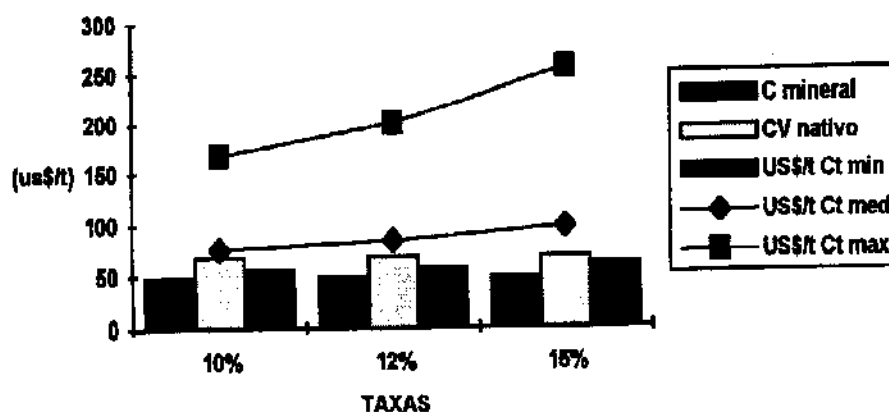
Comparando-se os custos obtidos àqueles apresentados na Tabela 2.22, referentes à produção de carvão vegetal de reflorestamento em Carajás, vê-se que os resultados com base em custos de terra mínimo e médio estão bastante próximos dos determinados por Machado (op.cit.), que os efetuou tendo em vista o fornecimento de carvão vegetal à produção integrada de aço.

A proximidade dos resultados obtidos, embora a partir de metodologias bem distintas, desconsidera a aplicabilidade exclusiva do plantio de florestas, ou para a produção de aço (integrada) ou para a produção de ferro-gusa.

Plotando estes custos de carvão vegetal num Gráfico (7.2), inicialmente para um ciclo de exploração de vinte e um anos, em conjunto com os preços do carvão vegetal nativo US\$/ t 68, 53 (ABRACAVE, op. cit.) e do carvão mineral US\$/ t 48, 40 (MME, 1994), ter-se-á:

GRÁFICO 7.2

CUSTO DO CARVÃO VEGETAL X CARVÃO MINERAL - CICLO DE 21 ANOS (RENDIMENTO 30%)



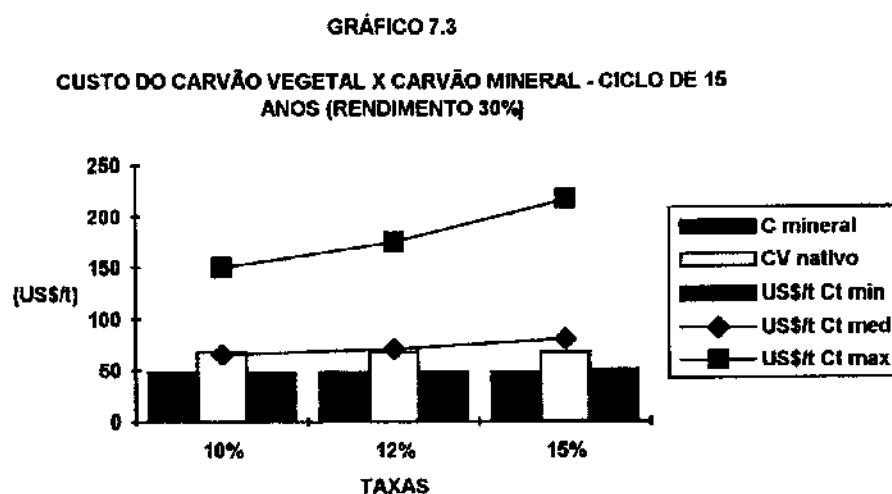
O gráfico acima nos mostra que em se considerando todas as alternativas de custo do carvão vegetal de reflorestamento, todas estas são superiores em custo ao preço do carvão mineral. Já quanto ao carvão vegetal nativo, apenas a alternativa de menor custo de terra se apresenta como inferior ao preço do carvão vegetal nativo, sendo as restantes de custo superior ao preço do carvão vegetal nativo.

Para a primeira alternativa de custo, que considera um Ct US\$ 40.16, o carvão mineral é 12.37% mais barato em relação ao custo de carvão de floresta de eucalipto, e na alternativa de maior custo a diferença chega a 21.86%. Quanto ao carvão vegetal nativo, este supera o carvão de eucalipto em 19.41% na primeira alternativa e em 9.62% na alternativa de maior custo.

Agora se considerando Ct médio (US\$ 1512.61), tanto o carvão vegetal nativo quanto o mineral têm preços inferiores ao custo do carvão de floresta homogênea. Para o carvão mineral as diferenças vão de 38.03% na alternativa de menor custo até 50.51% na de maior custo. Para o carvão vegetal as diferenças vão de 9.94% (no menor custo de carvão de floresta plantada) a 29.92% (na alternativa de maior custo).

Para um Ct máximo (US\$ 8031.51), as diferenças são maiores ainda. Entre o carvão mineral e o de floresta plantada, as diferenças variam entre 71.29% (alternativa de menor custo) e 81.13% (alternativa de maior custo). Já para o carvão vegetal nativo as diferenças variam entre 59.35% (alternativa de menor custo) e 73.28% (alternativa de maior custo).

Ao se considerar os custos de carvão vegetal, agora para ciclo de exploração de quinze anos, ter-se-á um gráfico semelhante (7.3):



Segundo o gráfico acima as diferenças entre os preços do carvão vegetal nativo e do carvão mineral e o custo do carvão vegetal de floresta plantada se comportam de forma semelhante à do gráfico anterior. Vê-se que o carvão mineral possui preço menor que o custo do carvão de floresta plantada consideradas as alternativas em que o custo de terra é médio ou máximo, ficando no mesmo nível do preço do carvão de reflorestamento quando o custo da terra é mínimo. Porém o carvão vegetal nativo só é inferior em preço ao de floresta plantada nas alternativas em que Ct é médio (segundo taxas de 12% e 15%) ou máximo.

Quando  $C_t$  é mínimo, o carvão mineral apresenta uma diferença para cima em relação ao carvão de floresta plantada de 2.92% (na alternativa de menor custo) e uma diferença de 5.29% para baixo na alternativa de maior custo. Já para o carvão vegetal nativo a variação é de 31.44% (em relação ao carvão de menor custo) e de 25.44% (em relação ao carvão de maior custo).

Quando se altera  $C_t$  para médio, o carvão vegetal nativo apresenta um preço quase idêntico ao custo do carvão vegetal de floresta plantada, quando se considera a alternativa de menor custo, em que a diferença a favor do carvão de reflorestamento é de apenas 0.66%. Para a alternativa em que o carvão de floresta homogênea tem o maior custo, o carvão nativo está 16.11% abaixo do custo do carvão de floresta plantada.

Ainda se considerando  $C_t$  médio, dessa vez em relação ao carvão mineral, o preço deste é 28.91% inferior ao custo do carvão de reflorestamento, tomando-se a alternativa de menor custo. Quando se toma a alternativa de maior custo, o carvão mineral apresenta preço inferior ao custo do carvão de reflorestamento em 40.76%.

À semelhança dos custos anteriores, quando se altera  $C_t$  para máximo tanto o carvão mineral quanto o vegetal nativo têm preços inferiores ao custo do carvão de floresta homogênea. O carvão mineral é inferior ao de floresta plantada entre 67.83% (alternativa de menor custo) e 77.73% (alternativa de maior custo), já a faixa do vegetal nativo está entre 54.45% (para a alternativa de menor custo) e 68.47% (para a alternativa de maior custo).

Pode-se ainda, a partir da equação 7.6, prosseguir nas variações de custo de carvão vegetal. Ao se tomar os custos de mão-de-obra apresentados por Pamplona & Rodrigues (op.cit.) de R\$ 0.5/ m<sup>3</sup> a R\$ 1,0/m<sup>3</sup>, porém mantendo-se os valores de custo

de lenha anteriormente obtidos (e por conseguinte as mesmas taxas de desconto e custos de terra, mais ciclos de exploração de vinte e um anos e quinze anos, desconsiderando o custo de investimento em forno, o fator de recuperação de capital, a capacidade do forno e o fator de capacidade, que não são fornecidos pelos autores), obter-se-ão os seguintes custos de carvão vegetal (US\$/ t), inicialmente para um ciclo de exploração de vinte e um anos:

| Taxas | Ct US\$/ha 40,16 | Ct US\$/ha 1 512,61 | Ct US\$/ha 8 031,51 |
|-------|------------------|---------------------|---------------------|
| 10%   | 23.66*           | 35.16               | 83                  |
|       | 24.16**          | 35.66               | 83.5                |
| 12%   | 25.4             | 38.6                | 97.1                |
|       | 25.9             | 39.1                | 97.6                |
| 15%   | 28.13            | 45.83               | 124.06              |
|       | 28.63            | 46.33               | 124.56              |

\* considerando custo de mão-de-obra R\$ 0,5/ m<sup>3</sup> aproximadamente US\$ 0,5/ m<sup>3</sup>;

\*\* considerando custo de mão-de-obra R\$ 1,0/ m<sup>3</sup> aproximadamente US\$ 1,0/ m<sup>3</sup>.

Agora, aplicando-se a mesma metodologia, porém para ciclos de exploração de quinze anos, nas mesmas condições empregadas para a determinação dos custos de carvão vegetal apresentados acima, os custos de carvão vegetal (US\$/ t) obtidos são:

| Taxas | Ct US\$/ha 40,16 | Ct US\$/ha 1 512,61 | Ct US\$/ha 8 031,51 |
|-------|------------------|---------------------|---------------------|
| 10%   | 23.66            | 32.16               | 73.43               |
|       | 24.16            | 32.66               | 74.93               |
| 12%   | 25.4             | 35.36               | 86.1                |
|       | 25.9             | 35.86               | 86.6                |
| 15%   | 28.13            | 40.56               | 106.53              |
|       | 28.63            | 41.06               | 107.03              |

Agora, plotando-se estes custos de lenha (em que o custo de mão-de-obra está entre US\$ 0,5/m<sup>3</sup> e US\$ 1,0/m<sup>3</sup>) contra os expostos nos Gráficos 7.2 e 7.3, ter-se-á, inicialmente para ciclo de exploração de vinte e um anos:



GRÁFICO 7.4

COMPARAÇÃO ENTRE CUSTOS DE CARVÃO VEGETAL, PARA  
DIFERENTES CUSTOS DE MÃO-DE-OBRA\*(US\$ 0,5)-CICLO DE 21  
ANOS

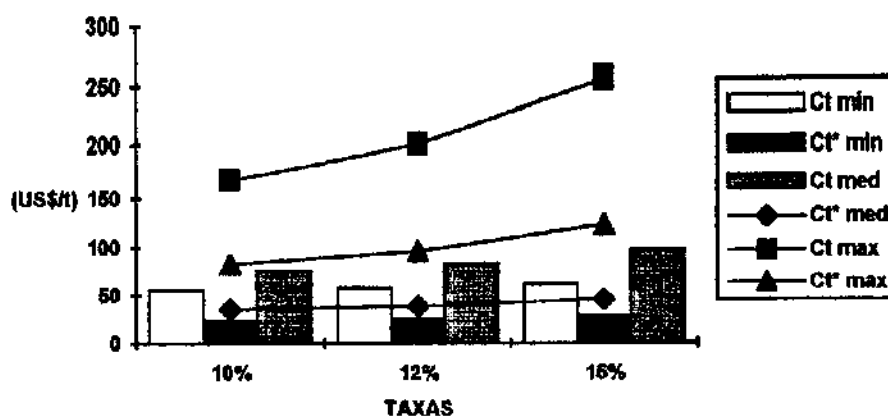
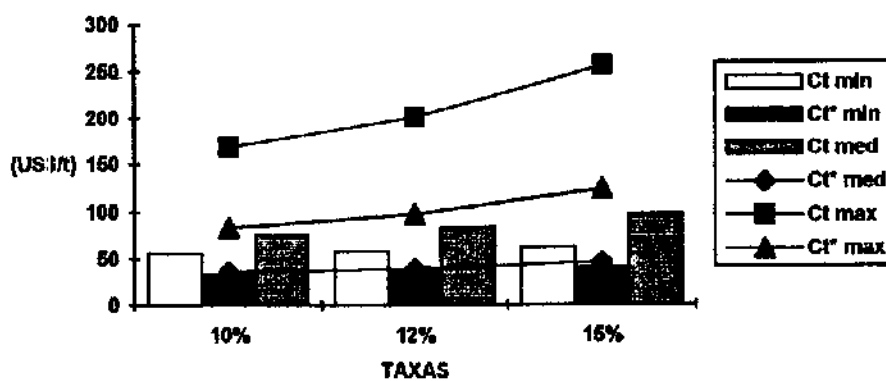


GRÁFICO 7.5

COMPARAÇÃO ENTRE CUSTOS DE CARVÃO VEGETAL, PARA  
DIFERENTES CUSTOS DE MÃO-DE-OBRA\*(US\$ 1,0)-CICLO DE 21  
ANOS



Procedendo-se agora a comparações entre os diferentes custos de carvão, em se considerando um ciclo de exploração de quinze anos:

GRÁFICO 7.6

COMPARAÇÃO ENTRE DIFERENTES CUSTOS DE CARVÃO VEGETAL,  
PARA DIFERENTES CUSTOS DE MÃO-DE-OBRA (US\$ 0,6)-CICLO DE  
15 ANOS

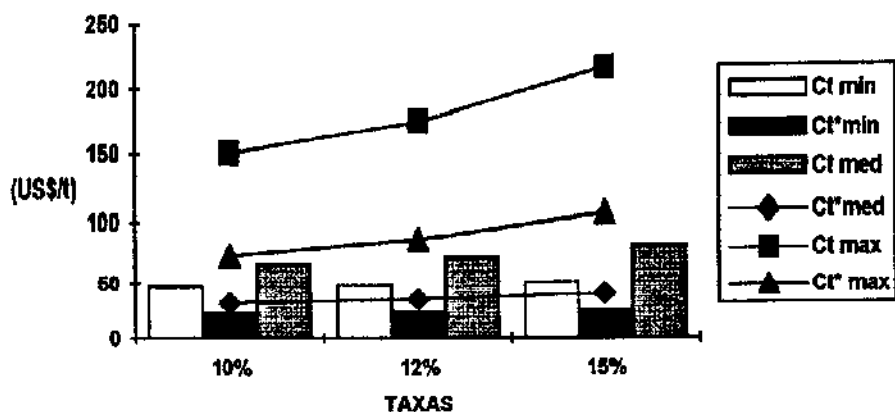
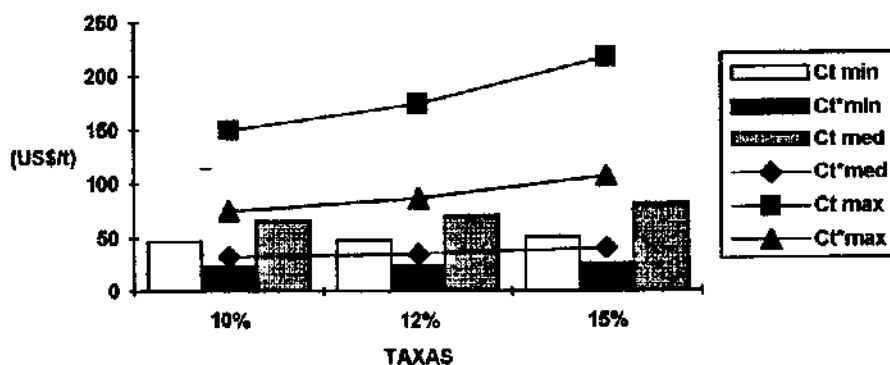


GRÁFICO 7.7

COMPARAÇÃO ENTRE DIFERENTES CUSTOS DE CARVÃO VEGETAL,  
PARA DIFERENTES CUSTOS DE MÃO-DE-OBRA (US\$ 1,0)-CICLO DE  
15 ANOS



Após uma rápida análise do exposto nos gráficos anteriores (7.2 e 7.3) vê-se que, segundo os parâmetros florestais aqui empregados, para o consumidor de carvão vegetal é melhor adquiri-lo com procedência de mata nativa que plantar uma floresta para então produzi-lo, isto quando se considera os custos de terra para reflorestamento variando de médio a máximo e um rendimento de 30% no processo de transformação de

lenha em carvão vegetal. Mais ainda, o preço do carvão mineral importado, considerando-se todas as situações de custo de terra (idem variações de taxa) e ciclos de exploração (quinze e vinte e um anos), está sempre abaixo dos custos de produção do carvão vegetal de floresta plantada (da mesma forma se considerando um rendimento de 30% na transformação de lenha em carvão vegetal).

Quando se considera os diferentes custos de carvão vegetal apresentados nos **Gráficos 7.4 a 7.7**, têm-se valores bem distintos daqueles obtidos anteriormente por meio do emprego da equação 7.6. Tal ocorre em virtude da variação presente no parâmetro referente a custos de mão-de-obra. Ora, os custos entre US\$ 0,5/m<sup>3</sup> e US\$ 1,0/ m<sup>3</sup> de carvão vegetal são custos reais praticados nas carvoarias do Norte de Minas Gerais, em se empregando lenha de floresta de eucalipto. Todavia, não se tem acesso ao custo de investimento do forno que pode ser construído pela própria siderúrgica, ou pelo carvoeiro, tampouco ao fator de recuperação de capital.

A manutenção deste custos, leva a crer em estrutura semelhante no que se refere ao carvão vegetal nativo, como forma de manter o seu preço abaixo do carvão de reflorestamento, i.e., levando ao mínimo possível os custos de mão-de-obra. Ao se aplicar a equação 7.6, numa tentativa de se determinar a tonelada de carvão vegetal nativo, obtém-se US\$/t 53,09, que fica próximo ao preço (1993) do metro cúbico de carvão vegetal<sup>14</sup>, segundo dados fornecidos pela ABRACAVE.

Quanto ao uso alternativo de madeira de reflorestamento, que não o energético, existem diversas opções: à produção de postes, laminados, papel e celulose, etc.,

---

<sup>14</sup> Este preço se refere a uma média, segundo diferentes preços por região produtora ao longo do ano.

Fazendo-se uma comparação entre os custos de lenha reflorestada já obtidos e o preço pago por uma tonelada de madeira destinada a produção de papel e celulose (US\$/t 38,40 - 1995), obtém-se que:

Diferença (US\$/t) entre custo de lenha reflorestada e preço de lenha para produção de papel e celulose - ciclo de 21 anos

| Taxas | Diferença (Ct baixo) | Diferença(Ct médio) | Diferença (Ct elevado) |
|-------|----------------------|---------------------|------------------------|
| 10%   | 31.44                | 27.92               | 11.54                  |
| 12%   | 30.92                | 26.41               | 6.54                   |
| 15%   | 30.98                | 23.86               | - 3.67                 |

Diferença (US\$/t) entre custo de lenha reflorestada e preço de lenha para produção de papel e celulose - ciclo de 15 anos

| Taxas | Diferença (Ct baixo) | Diferença(Ct médio) | Diferença (Ct elevado) |
|-------|----------------------|---------------------|------------------------|
| 10%   | 32.83                | 8.79                | 23.02                  |
| 12%   | 32.51                | 9.87                | 27.45                  |
| 15%   | 31.96                | 11.75               | 35.28                  |

As diferenças entre custo de lenha de reflorestamento e preço de madeira para papel e celulose sugerem que se o reflorestador não quiser carvoejar pode, aparentemente, ser remunerado pelo plantio da floresta em quase todas as alternativas referentes ao ciclo de exploração de vinte e um anos, excetuando-se aquela em que o custo de terra é elevado e a taxa de atualização é de quinze por cento. Neste caso, o custo de lenha está US\$/t 3,67 mais elevado que o preço pago pela tonelada de madeira.

Ao se considerar um ciclo de exploração de quinze anos, todas as alternativas são passíveis de remuneração.

Hipoteticamente pode-se considerar que a decisão entre carvoejar ou vender madeira à indústria de papel e celulose decorrerá de:

- a) um impedimento total de acesso a mata nativa, restando tão somente o plantio de florestas para a produção de carvão vegetal, independente do custo;
- b) a situação atual de demanda-uso de carvão vegetal nativo não se altera nos anos seguintes, i.e., não ocorrem condições críticas de suprimento. Assim, o responsável pela floresta plantada opta, segundo sua vontade, ou por carvão vegetal, ou por destinar a madeira para a produção de papel e celulose.;
- c) a situação atual de demanda-uso de carvão vegetal nativo não se altera nos anos seguintes, i.e., não ocorrem condições críticas de suprimento. Assim, o responsável pela floresta plantada resolve vender a madeira para a produção de papel e celulose, visando a remuneração imediata, sem fazer acréscimo de custos devido ao carvoejamento, porém inviabilizando o uso-produção de carvão vegetal de reflorestamento.

#### **7.6.4. CENÁRIOS FUTUROS PARA A PRODUÇÃO DE FERRO-GUSA**

Com vistas a se prever o comportamento da produção futura de ferro-gusa baseada em carvão vegetal, procede-se agora a construção simplificada de três cenários, num intervalo de cinco anos (1995-2000), admitindo-se que:

**Cenário A:** o atual estado produtivo não se modifica, ou seja a produção de gusa não cresce mantendo-se estagnada. As proporções de carvão vegetal nativo e de reflorestamento permanecem as mesmas, ou seja, 60% e 40% respectivamente.

**Cenário B:** a produção de gusa cresce num intervalo de cinco anos 1%, 3% ou 5%, porém mantidas as atuais proporções entre carvão nativo e de reflorestamento.

**Cenário C:** a produção de gusa cresce num intervalo de cinco anos 1%, 3% ou 5%, porém utilizando somente carvão de reflorestamento.

**Cenário D:** a produção de gusa cresce num intervalo de cinco anos 1%, 3% ou 5%, porém toda a produção sendo baseada em coque.

O **Cenário A** considera que a produção de gusa manter-se-á estagnada. Ao se tomar a produção de ferro-gusa de 1992 (como exemplo) e transporta-la para 1995, tem-se:

Produção de ferro-gusa (t) - Cenário A (1995-2000)

| anos | a coque  | a carvão vegetal integradas | a carvão vegetal independentes |
|------|----------|-----------------------------|--------------------------------|
| 1995 | 16217635 | 2381044                     | 4383373                        |
| 1996 | 16217635 | 2381044                     | 4383373                        |
| 1997 | 16217635 | 2381044                     | 4383373                        |
| 1998 | 16217635 | 2381044                     | 4383373                        |
| 1999 | 16217635 | 2381044                     | 4383373                        |
| 2000 | 16217635 | 2381044                     | 4383373                        |

Este cenário resulta na perda do mercado europeu, em virtude do não atendimento às exigências de “gusa-verde”, a vigorar a partir de 1997. Possivelmente haverá a abertura de novos mercados na Ásia, região que comporta produtores com menores preocupações ambientais.

O **Cenário B** considera que em cinco anos a produção de gusa pode crescer, 1%, 3% ou 5%, porém mantendo-se as atuais proporções de uso de carvão vegetal nativo e de reflorestamento:

Produção de ferro-gusa (t) - Cenário B (1995-2000) com Crescimento de 1%

| anos | a coque  | a carvão vegetal integradas | a carvão vegetal independentes |
|------|----------|-----------------------------|--------------------------------|
| 1995 | 16217635 | 2381044                     | 4383373                        |
| 1996 | 16217797 | 2381282.1                   | 4383811.3                      |
| 1997 | 16217959 | 2381520.2                   | 4384249.7                      |
| 1998 | 16218121 | 2381758.3                   | 4384688                        |
| 1999 | 16218284 | 2381996.4                   | 4385126.3                      |
| 2000 | 16218446 | 2382234.5                   | 4385564.7                      |

Produção de ferro-gusa (t) - Cenário B (1995-2000) com Crescimento de 3%

| anos | a coque  | a carvão vegetal integradas | a carvão vegetal independentes |
|------|----------|-----------------------------|--------------------------------|
| 1995 | 16217635 | 2381044                     | 4383373                        |
| 1996 | 16218122 | 2381758.3                   | 4384688                        |
| 1997 | 16218608 | 2382472.6                   | 4386003                        |
| 1998 | 16219095 | 2383186.9                   | 4387318                        |
| 1999 | 16219581 | 2383901.2                   | 4388633                        |
| 2000 | 16220068 | 2384615.5                   | 4389948                        |

Produção de ferro-gusa (t) - Cenário B (1995-2000) com Crescimento de 5%

| anos | a coque  | a carvão vegetal integradas | a carvão vegetal independentes |
|------|----------|-----------------------------|--------------------------------|
| 1995 | 16217635 | 2381044                     | 4383373                        |
| 1996 | 16218446 | 2382234.5                   | 4385564.7                      |
| 1997 | 16219257 | 2383425                     | 4387756.3                      |
| 1998 | 16220068 | 23846153.5                  | 4389948                        |
| 1999 | 16220879 | 2385806                     | 4392139.6                      |
| 2000 | 16221690 | 2386996.5                   | 4394331.3                      |

O Cenário B também resulta na perda do mercado europeu, e na busca por novos mercados, principalmente na Ásia. O crescimento na produção implica necessariamente na intensificação da exploração de mata nativa, bem como na intensividade de carvão vegetal de reflorestamento, numa taxa capaz de acompanhar o crescimento da produção.

A intensificação do uso de floresta nativa significa que os produtores independentes conseguiram transferir-se para a Amazônia, onde há massa florestal abundante, pois na Região Sudeste, fatalmente a produção baseada em vegetal nativo teria de cessar.

O Cenário C considera que o gusa será produzido todo a partir de carvão vegetal de reflorestamento. Sob essa condição mercado europeu seria mantido,

juntamente com os novos mercados da Ásia, todavia a produção independente de gusa deixaria de existir, pois não seria capaz de reflorestar.

A produção de gusa seria feita exclusivamente por grandes siderúrgicas integradas, com áreas próprias de reflorestamento. Deve-se atentar que, a parte da produção antes feita por independentes e não absorvida pelas grandes siderúrgicas, isto é, a produção de gusa para exportação, será suprida pelo aço, devido ao seu maior valor no mercado de produtos siderúrgicos.

Evitando-se o emprego de carvão vegetal nativo e de carvão mineral na produção de ferro-gusa, poder-se-ia auxiliar o balanço de carbono emitido à atmosfera. No Capítulo V há referência aos pontos assinalados pela FAO/ONU referentes a eucaliptocultura, e de como esta contribui para minorar o efeito estufa.

O **Cenário D** implica na substituição total de carvão vegetal por mineral, devido ao não atendimento às determinações legais de reflorestamento, bem como aquelas referentes a exploração de matas nativas. Assim, não existiria mais a produção independente de ferro-gusa, incapaz de importar coque. Haveria apenas a produção de gusa como insumo ao aço, produção esta feita pelas grandes siderúrgicas integradas.

## **7.7. COMENTÁRIOS FINAIS**

Após a exposição do Capítulo VII, cabe-se destacar cinco pontos relacionados à limitação para uso energético das florestas: a) a legislação florestal; b) espaço físico necessário a uma floresta; c) volume de floresta a ser plantada; d) preço do carvão mineral e; e) o carvão vegetal e os produtores independentes de ferro-gusa.



- a legislação florestal atualmente limita a instalação de projetos sidero-metalúrgicos a um regime de plantio e posterior exploração dessa mata segundo um coeficiente que deve crescer percentualmente a cada ano até que atinja 100% de suprimento de lenha de reflorestamento, isto é o caso dos projetos aprovados até 1985, cuja data limite é 1997. Mesmo para projetos posteriores o ano de 1997 é o ano limite. Futuros projetos que porventura queiram se associar a um que já possua seu plano de exploração aprovado para dez anos, terão de se submeter a um plano de exploração e implementação de floresta homogênea num período inferior a dez anos, (por exemplo oito anos), e os outros que a estes se associarem assim o procederão num tempo de exploração e manutenção cada vez menor.

Embora não seja a principal razão, este foi um dos fatores que “desmotivou” a instalação de novos projetos sidero-metalúrgicos na região de Carajás.

- quanto ao espaço físico; no caso da viabilidade do plantio de florestas e num quadro de crescimento de demanda, será necessário um número cada vez maior de hectares a se plantar, guardadas é claro as proporções de ritmo e de ciclo exploração, o que pode se conflitar com áreas destinadas exclusivamente a agricultura, ou simplesmente com a inexistência de mais áreas disponíveis numa região, o que levaria os interessados em carvão vegetal a procurar locais cada vez mais distantes do centro consumidor, o que pode levar a inviabilizar a continuação da atividade de carvoejamento.
- grandes siderúrgicas vêm cada vez mais abandonando a produção de ferro-gusa e aço com base em carvão vegetal, substituindo este por carvão mineral. Basicamente pelo preço que é competitivo com o carvão vegetal nativo e de reflorestamento, e

por poder usar um insumo que permite um melhor controle das características técnicas e físico-químicas quando de sua aquisição.

- o carvão vegetal nativo todavia ainda representa o maior volume de produção e consumo em relação ao de reflorestamento, tomando-se apenas o âmbito da produção de ferro-gusa. Isto se deve principalmente à necessidade dos produtores independentes de gusa a carvão vegetal nativo, pois estes não têm como investir em reflorestamento, o que força a continuidade da indústria carvoeira, que por sua vez é a base de sustentação de um tipo social criado pelo indústria sidero-metalúrgica; o carvoejador.
- os custos de mão-de-obra considerados nos **Gráficos 7.4 a 7.7** são praticados na região Norte de Minas Gerais. Em se tomando estes como parâmetro tentou-se quantificar o custo do carvão vegetal, a partir de lenha de floresta de eucalipto, de modo a comparar com os parâmetros empregados anteriormente e expostos nos **Gráficos 7.2 e 7.3**. Inicialmente cogitou-se de duas hipóteses no procedimento desse cálculo; a primeira, as siderúrgicas constroem os fornos de carvoejamento e aí contratam os carvoeiros, o que não permite o emprego do custo do investimento em forno e fator de recuperação de capital para aplicação na equação 7.6, restando apenas o emprego dos parâmetros custo de lenha, rendimento e custo de mão-de-obra. E a outra hipótese é que os próprios carvoeiros constroem os fornos, o que ainda permite o emprego parcial da equação 7.6, no mesmo formato da primeira hipótese.
- o tipo de forno considerado nos cálculos anteriores é do tipo “rabo-quente”, que é o tradicionalmente mais empregado. Todavia tal forno não permite o controle do processo de carvoejamento de outra forma que não seja o acompanhamento

temporal (três dias) e visual da combustão da lenha até se tornar carvão. Nessas condições o rendimento mais comum na transformação de lenha (lenha de eucalipto ou de qualquer outra espécie vegetal) em carvão vegetal é de 30%. Em experimentos conduzidos em laboratório, se realizando o carvoejamento em retortas elétricas é possível de obter um rendimento superior<sup>15</sup> a 60%, pois o experimento é conduzido com controle do tempo de carvoejamento e do avanço da frente de carbonização, o que como já foi dito anteriormente, não ocorre na maioria das vezes na produção de carvão vegetal. Assim, ao se considerar um rendimento médio para a conversão de lenha em carvão vegetal, o mais adequado é o de 30%. Ao se considerar o custo de carvão vegetal a partir de carvoejamento em retorta elétrica, deve-se necessariamente, incluir na solução da equação 7.6, mais um parâmetro que é o preço da retorta, e por conseguinte seu tempo de vida útil e capacidade de produção por unidade de tempo (dia, mês ou ano).

---

---

## **CAPÍTULO VIII: CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES**

---

---

Após a exposição dos aspectos envolvidos no uso do carvão vegetal nos pólos guseiros, cabe aqui o destaque de alguns pontos, vistos como principais à discussão dessa problemática, e que trazidos à baila por meio desse trabalho, podem ajudar no entendimento e, posteriormente, minorar os entraves, atualmente existentes, entre os diversos atores envolvidos com o carvão vegetal.

### **8.1. CONCLUSÕES**

#### **8.1.1. QUANTO AO SUPRIMENTO E A TECNOLOGIA**

A continuação do fornecimento de carvão vegetal à sidero-metalurgia está se restringindo cada vez mais a produção de ferro-gusa. As siderúrgicas integradas estão, paulatinamente, realizando a transição do carvão vegetal para o mineral, o que aparentemente é natural, pois existem restrições ambientais e legais ao carvoejamento de mata nativa, afinal o volume de carvão demandado anualmente aumenta à medida que a massa florestal diminui, o reflorestamento é caro (para os produtores independentes), e o carvão mineral importado é mais barato que o carvão vegetal nativo nacional.

A transição de carvão vegetal para mineral empreendida pelas grandes siderúrgicas se iniciou nos anos oitenta, quando em vista das restrições supra-citadas as

siderúrgicas passaram a abandonar programas de reflorestamento e de recuperação de compostos como o alcatrão, para empregar cada vez mais o carvão mineral. A ACESITA é um bom exemplo disto, pois nada mais apresenta dos estudos a respeito de florestas energéticas densas de ciclo curto e dos grupos técnicos de recuperação de alcatrão, ambos em voga no início da década de oitenta.

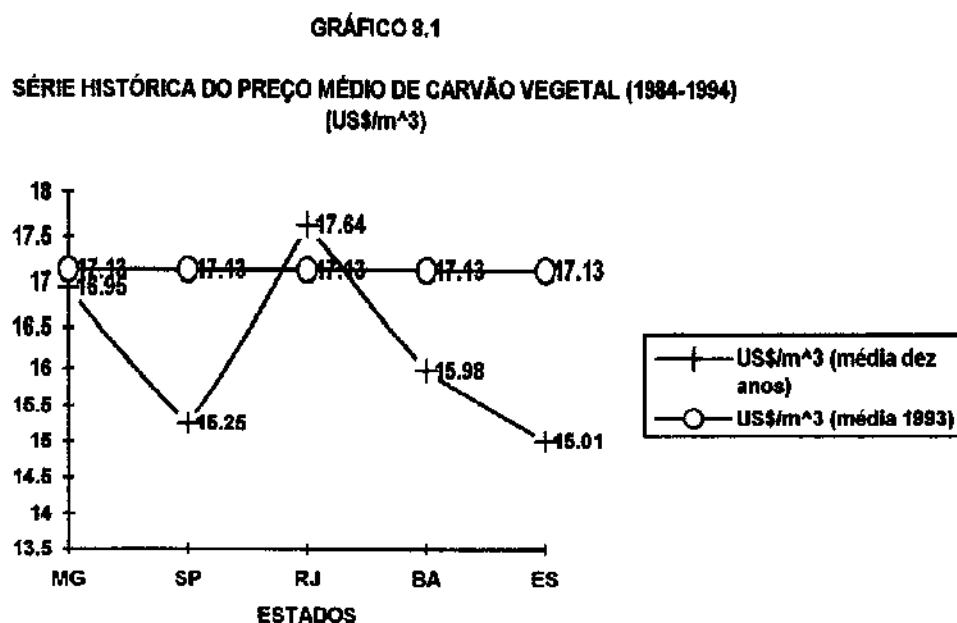
Deve-se levar em conta que do ponto de vista estritamente custo X preço, é mais vantajoso às grandes siderúrgicas importarem carvão mineral, que comprar ou produzir o carvão vegetal (reflorestamento). A tonelada de carvão vegetal nacional ao preço de 1993 (considerando o preço de Minas Gerais - ABRACAVE) estava em US\$/t 68,52, enquanto o carvão mineral importado se mantém numa faixa inferior a US\$/t 50,00 (US\$/t 48,40 em 1994).

Todavia, como foi escrito ao longo de todo o trabalho, a substituição de carvão nativo pelo de reflorestamento passa pela quantificação dos custos da lenha de reflorestamento e do carvão vegetal produzido a partir desta. O plantio de uma floresta de eucalipto, considerando os parâmetros empregados nos cálculos do Capítulo VII, culmina num custo de lenha e posterior custo de carvão vegetal que torna, a princípio, mais atrativa a importação de carvão mineral.

Na realidade, o plantio de florestas envolve parâmetros outros que no cálculo não foram considerados, para fins de simplificação ou por falta de acesso à informação. Estes por sua vez poderão, talvez, elevar ainda mais os valores cá apresentados.

Retomando-se a discussão sobre o custo do carvão de reflorestamento, agora em termos de mercado, e levando em conta a média histórica dos últimos dez anos do preço do carvão vegetal nativo(segundo dados obtidos junto a ABRACAVE), pode-se acompanhar a variação de preço do carvão vegetal nativo em diversos estados,

atentando-se para as variações ocorrentes ao longo de dez anos, que jamais ultrapassaram os US\$/ m<sup>3</sup> 20,00 (Gráfico 8.1):



Fonte: ABRACAVE (1994)

A fim de, se possível, aumentar cada vez mais sua margem de lucro é de interesse dos produtores independentes manter o preço do carvão vegetal nativo dentro de uma faixa inferior a US\$/m<sup>3</sup> 20,00. Talvez usando o expediente de deprimir o custo de mão-de-obra associado a ausência de mecanismos de seguridade social. Embora a mata nativa tenha custo zero de implantação.

A participação do custo do carvão vegetal na tonelada final de gusa pode ser exemplificada da seguinte forma. Como o carvão vegetal representa 60% dos custos do gusa, a tonelada média de ferro-gusa deveria custar aproximadamente US\$/t 78,84 (1992 FOB), quando se considera uma média em torno de US\$/m<sup>3</sup> 14,90 (1992) para o carvão vegetal. O que representaria algo em torno de US\$ 56,32 na tonelada de gusa.

Todavia o valor da tonelada média de ferro-gusa em 1992 foi de US\$/t 116,80, i.e., 32,5% a mais que o suposto.

Igualmente importante no que se refere ao uso do carvão vegetal é o custo da terra nos projetos de reflorestamento. Segundo esse custo, os preços do carvão mineral e do vegetal nativo podem se tornar mais ou menos atraentes.

Segundo os Gráficos 8.2 e 8.3 o carvão mineral é mais atraente em quase todas as alternativas de custo de terra consideradas (empata com a alternativa de custo de terra mais baixo - ciclo de quinze anos), já o carvão vegetal nativo só perde em atratividade quando entra em cena a alternativa em que o custo de terra é mínimo.

GRÁFICO 8.2

CUSTO DO CARVÃO VEGETAL X CARVÃO MINERAL - CICLO DE 21 ANOS (RENDIMENTO 30%)

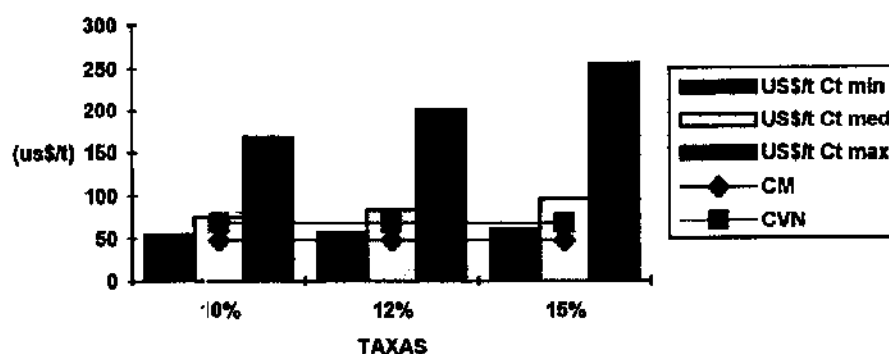
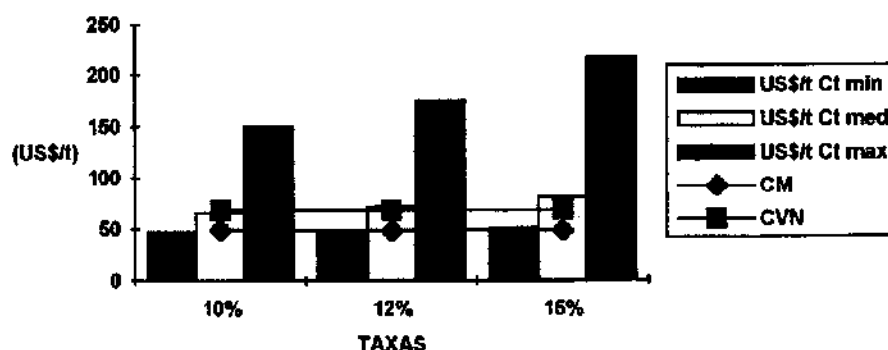


GRÁFICO 8.3

CUSTO DO CARVÃO VEGETAL X CARVÃO MINERAL - CICLO DE 15 ANOS (RENDIMENTO 30%)



Quanto aos Gráficos de 8.4 a 8.7, embora os custos de carvão não estejam comparados ao preço do carvão mineral e do carvão vegetal nativo, estes certamente tornam viável (em termos puramente econômicos e não sociais) a continuação do uso de carvão vegetal na siderurgia.

GRÁFICO 8.4

COMPARAÇÃO ENTRE CUSTOS DE CARVÃO VEGETAL, PARA DIFERENTES CUSTOS DE MÃO-DE-OBRA\*(US\$ 0,5)-CICLO DE 21 ANOS

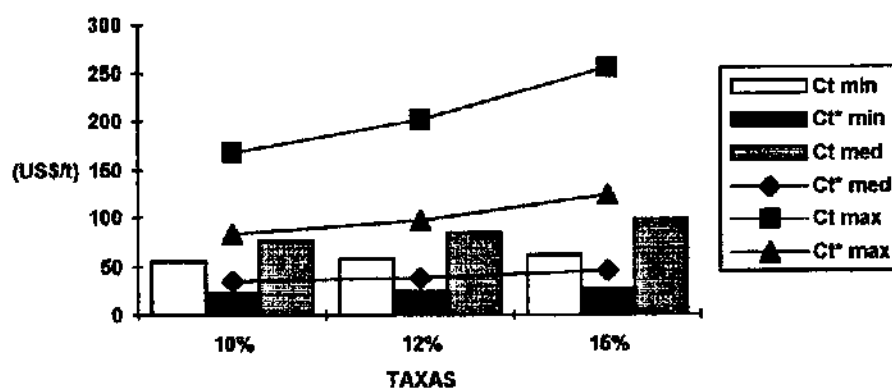


GRÁFICO 8.5

COMPARAÇÃO ENTRE CUSTOS DE CARVÃO VEGETAL, PARA DIFERENTES CUSTOS DE MÃO-DE-OBRA\*(US\$ 1,0)-CICLO DE 21 ANOS

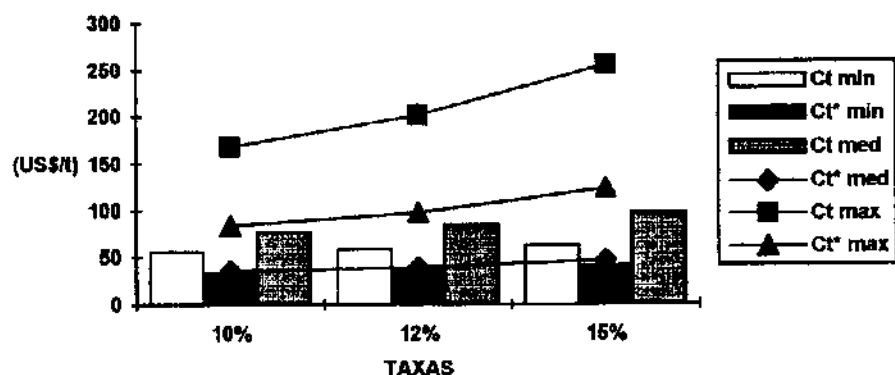




GRÁFICO 8.8

COMPARAÇÃO ENTRE DIFERENTES CUSTOS DE CARVÃO VEGETAL,  
PARA DIFERENTES CUSTOS DE MÃO-DE-OBRA (US\$ 0,5)-CICLO DE  
15 ANOS

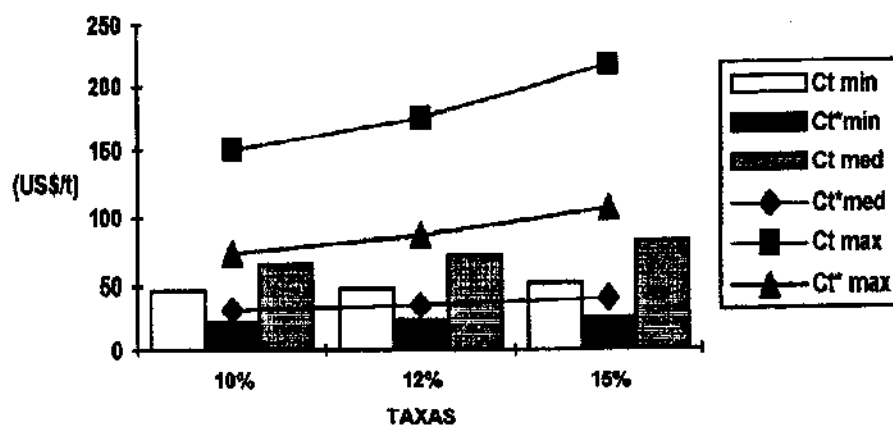
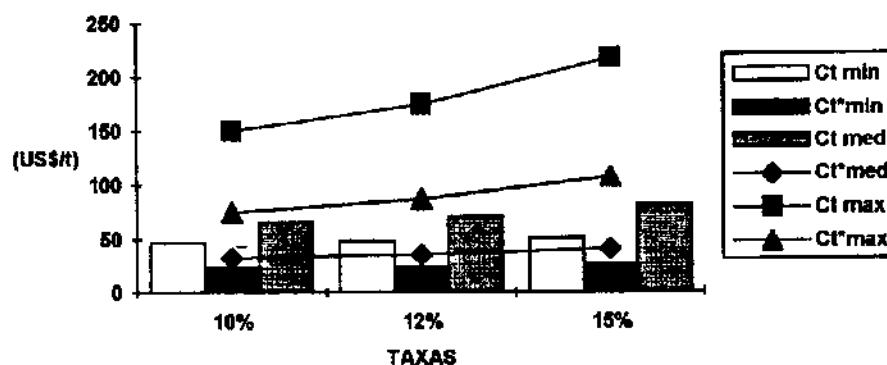


GRÁFICO 8.7

COMPARAÇÃO ENTRE DIFERENTES CUSTOS DE CARVÃO VEGETAL,  
PARA DIFERENTES CUSTOS DE MÃO-DE-OBRA (US\$ 1,0)-CICLO DE  
15 ANOS



Outra restrição importante é o volume de mata nativa empregado para a produção de carvão vegetal. Ao se tomar a produção de gusa de 1993, baseada em carvão vegetal, vê-se que esta cresceu 11,57% em relação ao ano anterior, o que representa em termos de massa florestal 118.023,19 ha/ano (considerando-se uma floresta homogênea). Em se mantendo este percentual como taxa de crescimento anual, serão necessários a cada ano o plantio de 13.655 ha, o que representa 29,26% do total

reflorestado no Brasil em 1993 (sem considerar os 4.335 milhões de toneladas de aço baseadas em carvão vegetal das usinas integradas).

Assim, pode-se chegar a considerar a hipótese de em prevalecendo o atual ritmo de exploração de mata nativa e a atual taxa de crescimento na produção de gusa, que haverá um ponto no tempo em que não existirá mais massa florestal nativa a ser explorada, tampouco áreas capazes de serem reflorestadas. Atingido este ponto será natural a passagem para o uso de carvão mineral, ou talvez sob condições técnicas adequadas, para o uso de gás natural.

A manutenção do uso do carvão vegetal, principalmente nativo, se deve basicamente aos produtores independentes de ferro-gusa que ou por não possuírem estrutura capaz de transicionar para o carvão mineral continuam a empregar o vegetal, ou em possuindo esta estrutura preferem manter a estrutura produtiva com base em carvoejadores, evitando assim encargos sociais que lhes trariam ônus ao preço final do gusa, diminuindo assim a margem de lucro.

Outro ponto a ser bem considerado é o que trata do carvoejamento, em termos de rendimento possível de ser obtido quando da transformação de lenha em carvão vegetal. Nos cálculos efetuados ao longo do Capítulo VII, buscou-se definir os preços da lenha e do carvão vegetal produzido utilizando-se um rendimento de 30%.

Considera-se o rendimento de 30%, na conversão de lenha para carvão vegetal, que é considerado como aquele que comumente ocorre no carvoejamento, é claro generalizando-se as espécies vegetais. Ora, como os cálculos se referem ao emprego de forno tipo “rabo-quente” (mais comumente empregado), o rendimento de 30% é o mais provável de ser encontrado, em se tratando deste tipo de forno, já que as condições

reinantes para a obtenção de um rendimento maior não se apresentam quando da operação do “rabo-quente”.

O rendimento maior seria (para o carvoejamento de lenha de eucalipto) o de 64%, que é o rendimento teórico máximo que pode ser obtido na conversão de lenha para carvão vegetal. Porém tal rendimento só é possível de ser obtido sob condições de pirólise controlada, por exemplo em retorta elétrica, na qual se pode controlar a temperatura e o avanço da frente de pirólise.

Sem dúvida existem outros fornos mais eficientes que o “rabo-quente” do ponto de vista de controle do carvoejamento, e de maior capacidade volumétrica, todavia os outros tipos ou não se popularizam devido aos custos ou complexidade de construção, ou operaram apenas em escala reduzida, ou ainda não passaram da fase de teste.

No Capítulo III onde são demonstrados os fornos mais comuns. O que melhor se adequa aos quesitos controle de carvoejamento e capacidade volumétrica é o forno de superfície com câmara externa.

Este tipo de forno permite inclusive a instalação de recuperadores de alcatrão, entretanto a porta metálica que veda a parte do forno destinada ao carvoejamento, além de encarecer o custo de construção pode inviabilizar a operação do forno se esta, devido a manutenção inadequada, apresentar empenamento.

Assim, aos produtores independentes a construção do forno “rabo-quente” ainda se apresenta como a melhor e mais “barata” solução quando se trata de carvoejar.

Quando da produção de carvão vegetal, deve-se ter em mente que a fim de se obter o melhor rendimento possível em carvão vegetal, atente-se ao fato de o teor de carbono fixo ser inversamente proporcional a elevação de temperatura. Para os tipos de fornos tratados neste trabalho, o ideal (teórico) é se manter uma taxa de aquecimento de

aproximadamente 6 °C/hora, o que pode resultar num rendimento máximo de 30,33% em carbono fixo, 2,2% em alcatrão e 38,2% em carvão vegetal.

Quanto ao carvão vegetal das espécies da Região Amazônica, este apresenta algumas vezes um PCS acima daquele apresentado pelo carvão de eucalipto, embora, no geral os valores estejam no mesmo nível. Porém, o teor de cinzas é mais elevado que o do eucalipto, a parte disso, o carvão gerado é de boa qualidade. O maior problema a sua utilização seria quanto a escala de demanda, que muito provavelmente não seria atendida, e a própria distribuição espacial e temporal das árvores, uma vez que mesmo em se plantado-as, tratam-se de espécies exóticas que levam um número bem maior de anos para crescer que árvores do gênero *Eucaliptus*.

Já quanto as palmeiras de babaçu, no início da década de oitenta acreditava-se que, segundo a distribuição espacial ao longo do traçado da Estrada de Ferro Carajás, poder-se-ia obter cerca de 453 mil t de carvão/ano, capazes de produzir 860 mil t de ferro-gusa/ano em fornos elétricos. Todavia, atualizando-se estes números... Os babaçuais só têm condições de atender a 0,3% (em alto-forno tipo ACESITA) ou 0,52% (alto-forno elétrico) das 775 mil t/ano de ferro-gusa, previstas em produção a partir de 1992 no pólo guseiro de Carajás. Para suprir inteiramente essa demanda por carvão de coco de babaçu seriam necessárias 527 milhões t (em alto-forno tipo ACESITA) ou 310 milhões t (alto-forno elétrico).

Comparando-se o carvão de babaçu e o de eucalipto, ambos se assemelham quanto ao teor de carbono fixo e de cinzas, porém ao se operar com carvão de babaçu no alto-forno pode-se empregar um menor volume de escória, e economizar 148 kWh/t de gusa. Porém à semelhança do carvão vegetal florestal, o de babaçu também apresenta baixa resistência mecânica.

Quanto à utilização de carvão mineral ou vegetal e o produto final que geram (gusa ou aço), não há dúvidas que tanto em capacidade calorífica quanto em qualidade de produto final o carvão vegetal apresenta vantagens. Entretanto, no que se refere à resistência mecânica à carga no alto-forno e suprimento regular, as vantagens passam a ser do carvão mineral.

Quanto ao comportamento da produção futura de ferro-gusa, baseada em carvão vegetal, podem ocorrer inúmeras variáveis que afetam os mercados, os produtores, etc.,. Todavia, ao se restringir algumas variáveis a quatro cenários, em se considerando cinco anos como intervalo de abrangência (1995-2000), ter-se-á elementos que poderão auxiliar futuras avaliações (Capítulo VII).

O **Cenário A** (o atual estado de produção fica estagnado) resulta na perda do mercado europeu, em virtude do não atendimento às exigências de “gusa-verde”, a vigorar a partir de 1997. Possivelmente haverá a abertura de novos mercados na Ásia, região que comporta produtores com menores preocupações ambientais.

O **Cenário B** (a produção cresce 1%, 3% ou 5%, mas mantendo-se as atuais proporções de uso em carvão vegetal, quais sejam 60% nativo e 40% reflorestamento) também resulta na perda do mercado europeu, e na busca por novos mercados, principalmente na Ásia. O crescimento na produção implica necessariamente na intensificação da exploração de mata nativa, bem como na intensividade de carvão vegetal de reflorestamento, numa taxa capaz de acompanhar o crescimento da produção.

A intensificação do uso de floresta nativa significa que os produtores independentes conseguiram transferir-se para a Amazônia, onde há massa florestal abundante, pois na Região Sudeste, fatalmente a produção baseada em vegetal nativo teria de cessar.

O **Cenário C** considera que o gusa será produzido todo a partir de carvão vegetal de reflorestamento. Sob essa condição, o mercado europeu seria mantido, juntamente com os novos mercados da Ásia, todavia a produção independente de gusa deixaria de existir, pois não seria capaz de ações de reflorestamento.

A produção de gusa seria feita exclusivamente por grandes siderúrgicas integradas, com áreas próprias de reflorestamento. Deve-se atentar que, a parte da produção antes feita por independentes e não absorvida pelas grandes siderúrgicas, isto é, a produção de gusa para exportação, será suprida pelo aço, devido ao seu maior valor no mercado de produtos siderúrgicos.

Evitando-se o emprego de carvão vegetal nativo e de carvão mineral na produção de ferro-gusa, poder-se-ia auxiliar o balanço de carbono emitido à atmosfera<sup>1</sup>. Tal poderia servir como política de conquista de novos mercados.

O **Cenário D** implica na substituição total de carvão vegetal por mineral, devido ao não atendimento às determinações legais de reflorestamento, bem como aquelas referentes a exploração de matas nativas. Assim, não existiria mais a produção independente de ferro-gusa, incapaz de importar coque. Haveria apenas a produção de gusa como insumo ao aço, produção esta feita pelas grandes siderúrgicas integradas.

### **8.1.2. QUANTO AO LEGAL, AMBIENTAL E SOCIAL**

No tocante as limitações ambientais e legais crê-se que do conjunto existente estas restrições são passíveis de flexibilização (ou burla), por parte dos usuários de carvão vegetal. Por exemplo, algumas siderúrgicas mineiras impossibilitadas de

---

<sup>1</sup> Ver Capítulo V: as recomendações da FAO/ONU referentes a eucaliptocultura.

continuar operando com carvão vegetal nativo passaram a adquirir este na região fronteiriça com a Bahia. O carvão lá produzido não verte as taxações referentes a carvoejamento de mata nativa aos órgãos fiscalizadores, no caso o Instituto Florestal e o IBAMA.

No tocante ao sistema regulatório referente a produção de carvão de mata nativa, o dispositivo que foi empregado de forma mais eficiente estabeleceu um percentual anual a ser reflorestado por projetos sidero-metalúrgicos aprovados a partir de 1985. O mesmo preconizava que os projetos aprovados deste ano em diante deviam utilizar 100% de madeira reflorestada (por eles plantada) até 1997. Ora, o projeto que porventura haja sido aprovado em 1985 dispunha de doze anos para ser auto-suficiente em madeira reflorestada, porém um projeto aprovado em 1987 já disporia de apenas dez anos e assim sucessivamente.

Tal dispositivo legal fez com que o ímpeto de uma instalação inicial de oito projetos sidero-metalúrgicos na região de Carajás fosse reformulado para quatro, sendo que atualmente três estão em funcionamento e um se encontra em compasso de espera, ficando os quatro projetos restantes adiados.

Em se tratando da produção independente de ferro-gusa, porém, tendo em foco os carvoejadores, considera-se que a possibilidade (latente) da descontinuidade na produção de gusa a base de carvão vegetal pode agravar ainda mais a situação desses trabalhadores.

Se as restrições a exploração de mata nativa para carvoejamento chegarem a um ponto em que esta terá de cessar, como procederão aqueles dependentes do carvão vegetal para sobreviver? Embora o preço do metro cúbico de carvão vegetal seja artificialmente mantido, tampouco haja qualquer espécie de seguridade social, e seja o

regime de trabalho escravo, boa parte dos carvoejadores abandonou totalmente a agricultura ou pecuária de subsistência há gerações, e no caso do fim da indústria de carvoejamento não teriam como retornar às atividades anteriores de sustento.

Provavelmente se formariam massas de miseráveis a percorrer o País em busca de engajamento no trabalho de alguma grande obra, ou a ocupar áreas anteriormente dedicadas ao carvoejamento, porém sem condições ou estrutura capaz de comportar agricultura ou pecuária.

Mais ainda, aparentemente o preço do carvão vegetal nativo é mantido baixo por meio de um expediente empregado pelos “patrões” dos carvoeiros, qual seja a baixa remuneração da mão-de-obra empregada (Pamplona & Rodrigues, op. cit.), o que permite um preço baixo para o carvão produzido, e a manutenção de indústria nele baseada. Na realidade os custos de mão-de-obra apresentados pelos autores supracitados se referem à carvão vegetal de floresta de eucalipto (e como se vê, bastante diferentes daqueles propostos pelo exercício do Capítulo VII, equações 7.5 e 7.6), o que leva a crer que o custo de mão-de-obra para carvão de mata nativa é ainda menor.

No que concerne aos conflitos relacionados ao carvão vegetal, estes ocorrem principalmente devido à estrutura produtiva. Num primeiro momento o pretendente a carvoejador se situa em uma área (diga-se particular), e se não dispõe de meios para explorar a mata passa a coletar lenha deixada no campo devido a expansão da frente agropecuária ou por serrarias (muitas vezes as fazendas possuem serrarias próprias). O material coletado será transformado em carvão vegetal, que poderá ser usado na própria fazenda ou vendido.

Enquanto a atividade se processa nesse nível é tolerada, pois é vista como uma maneira de limpar o terreno da fazenda. Os problemas surgem quando a atividade



carvoeira cresce e o carvoejador tenta estabelecer uma bateria de fornos, não mais para produzir carvão vegetal para consumo doméstico, mas sim para atender a uma nova escala de produção. A menos que essa nova etapa do carvoejamento seja do interesse do dono das terras, a produção de carvão vegetal cessa nesse instante. Todavia se mantido o interesse, paulatinamente passa a ocorrer o problema do abastecimento de lenha. Quando isso ocorre ou se passa à exploração de mata nativa, ou se busca lenha em outras áreas (geralmente particulares) ou ambos. Porém a coleta de lenha em outras áreas, especialmente nas particulares pode, segundo o caso, ser vista como invasão de terras e iniciar um ciclo de violências que provavelmente culminará na expulsão ou morte dos invasores.

## **8.2. RECOMENDAÇÕES**

O expediente exploratório a que estão submetidos os carvoeiros, de modo geral, nada mais é que uma forma perniciosa de dar sustentação à siderurgia baseada em carvão vegetal, pois com um custo de mão-de-obra tão baixo associado a um regime de trabalho intenso (da qual participa toda a família) de cerca de quinze horas por dia (sete dias por semana), mais a ausência de qualquer seguridade social, não existe outra definição para o trabalho dos carvoeiros que não seja o de trabalho escravo.

A atual estrutura de uma siderurgia baseada em carvão vegetal (e carvoeiros) deve ser seriamente questionada no que concerne aos mercados atuais e futuros de aço e ferro-gusa, principalmente em termos deste último produto, pois este é o grande demandante percentual de insumo vegetal (carvão) em sua fabricação e formação de custo. Posto isto, com os custos de mão-de-obra tão deprimidos não se admira que há

alguns anos atrás o gusa tenha conquistado mercados no exterior, frente a outros gusas que são produzidos utilizando como insumo o carvão mineral.

Seria de bom tom questionar-se a manutenção da atual estrutura através de um estudo comportamental, dos mercados atuais e projeções dos mercados futuros, no que concerne a produtos sidero-metalúrgicos baseados em carvão vegetal, uma vez que, por exemplo, a Comunidade Européia já apresenta restrições (ditas de cunho ambiental) à entrada desses produtos em seus mercados.

Sob estas condições é muito provável que os carvoejadores fiquem à mercê dos ventos com o fim da indústria do carvão vegetal. Porém, uma alternativa à solução parcial desse problema seria o emprego de parte dessa população na atividade de reflorestamento, não com vistas à produção de carvão vegetal, mas à produção de madeira para a indústria de papel e celulose, em ciclo de vinte e um anos, com três cortes ao longo deste a intervalos de sete anos (considerado ideal para este fim).

É claro que o reflorestamento seria capaz de empregar apenas uma parte dos ex-carvoejadores, aqueles não engajados ao plantio provavelmente continuariam no ciclo de miséria descrito mais acima.

Mesmo a solução do reflorestamento com vistas à produção de aço não absorveria um montante de mão-de-obra maior que o empregado na produção de madeira para outros fins, como por exemplo à indústria de celulose.

Com base nisso, talvez a única forma de viabilizar o reflorestamento na siderurgia seja promovendo a integração (Tabelas 8.1 e 8.2), de modo ao produto final (aço) pagar o investimento em reflorestamento:

**Tabela 8.1 - Investimento necessário à implantação de uma central de aço nas cidades de Marabá, Açailândia e Santa Inês - alto forno convencional (US\$/Lano de tarugo)**

|  | Marabá        | Açailândia | Santa Inês    |
|--|---------------|------------|---------------|
| <b>Alto-forno convencional</b>         |               |            |               |
| Terra, reflorestamento e carvoejamento | 174.40        | 130.30     | 151.70        |
| Alto-forno                             | 56.50         | 56.50      | 56.50         |
| Aciaria EOF                            | 129.20        | 129.20     | 129.20        |
| <b>Total</b>                           | <b>360.10</b> | <b>316</b> | <b>337.40</b> |

Fonte: CVRD (1987) apud Machado (1992)

**Tabela 8.2 - Investimento necessário à implantação de uma central de aço nas cidades de Marabá, Açailândia e Santa Inês - alto forno otimizado com injeção de finos (US\$/Lano de tarugo)**

|   | Marabá        | Açailândia    | Santa Inês    |
|---|---------------|---------------|---------------|
| <b>Alto-forno otimizado, com injeção de finos</b> |               |               |               |
| Terra, reflorestamento, e carvoejamento           | 141.70        | 105.90        | 123.30        |
| Alto-forno  | 77.20         | 77.20         | 77.20         |
| Aciaria EOF                                       | 129.20        | 129.20        | 129.20        |
| <b>Total</b>                                      | <b>348.10</b> | <b>312.30</b> | <b>329.70</b> |

Fonte: CVRD (1987) apud Machado (1992)

Ou então por meio de políticas oficiais de reflorestamento baseadas em vantagens fiscais ou subsídios (ações que já fracassaram anteriormente), pois de outro modo a siderurgia a carvão vegetal continuará sendo viável somente com o emprego continuado de carvão vegetal de mata nativa associada à exploração de mão-de-obra escrava, perpetuando a miséria dos carvoeiros e evitando o surgimento de novas propostas de sustento digno às essas populações.

O estabelecimento de cooperativas de carvoejadores poderia permitir a produção sustentada de carvão vegetal, pois haveria junto à instalação da cooperativa todo um programa de conscientização da necessidade de critérios quanto à exploração. Um modelo desses foi proposto pelo IDESP (op.cit.) o qual considerava cada carvoejador responsável por seis fornos, em ciclos de produção de sete dias. Estes fornos teriam capacidade média de 1,2 t carvão por fornada, ao ritmo de quatro fornadas por mês, totalizando 28,8 t/mês sendo a produção-homem.ano de 345 t. A média de produção

obtida seria maior que média ideal de produção de carvão vegetal em Minas Gerais que é de 1 t de carvão por forno.

Todavia, todos esses questionamentos são polêmicos e carecem de estudos mais aprofundados, especialmente em outras frentes pouco abordadas no presente trabalho: uma delas seria; que a manutenção do uso de carvão vegetal na siderurgia, deve ser acompanhada de uma análise prospectiva do mercado de gusa e aço, e suas respectivas tendências comportamentais, de modo a relacionar-se os dados obtidos com a própria existência da produção de ferro-gusa.

Outra frente seria a abordagem do impacto do uso de carvão vegetal de reflorestamento pela siderurgia, não só em termos de melhoria do produto final, mas também no que se refere a quantificação das emissões evitadas à atmosfera. E no caso de as emissões não poderem ser evitadas, que fosse estudada a possibilidade de se instuir taxas de emissão a serem pagas pelos usuários de carvão vegetal (ou mineral), de modo a reverter o montante apurado em projetos de minoração dos danos ambientais (principalmente à atmosfera) causados pela produção de gusa.

O estudo da viabilidade técnica e econômica de carvão vegetal, que não o de eucalipto (babaçu ou espécies vegetais amazônicas), não deve ser abandonado. Embora, a princípio o carvão de babaçu e o de espécies vegetais da Amazônia apresentem problemas de escala de suprimento, necessita-se de mais estudos para uma quantificação mais apurada de suprimento que aquela ocorrente neste trabalho. Tanto o babaçu, quanto as espécies amazônicas possuem características regionais de uso, que poderiam ser aproveitadas, do ponto de vista social, numa linha de produção de insumos à indústria, mesmo em pequena escala.

Finalmente, já que a produção de gusa baseada em carvão vegetal é tão questionada, e que este serve apenas de insumo à produção de aço, surge a possibilidade de se analisar em profundidade o emprego de gás natural para a redução direta, visando-se a produção de aço. Como Carajás se acha dentro do raio de influência das jazidas de Urucu, nada mais oportuno que se estudar como se daria a inserção do gás no pólo guseiro de Carajás.

obtida seria maior que média ideal de produção de carvão vegetal em Minas Gerais que é de 1 t de carvão por forno.

Todavia, todos esses questionamentos são polêmicos e carecem de estudos mais aprofundados, especialmente em outras frentes pouco abordadas no presente trabalho: uma delas seria; que a manutenção do uso de carvão vegetal na siderurgia, deve ser acompanhada de uma análise prospectiva do mercado de gusa e aço, e suas respectivas tendências comportamentais, de modo a relacionar-se os dados obtidos com a própria existência da produção de ferro-gusa.

Outra frente seria a abordagem do impacto do uso de carvão vegetal de reflorestamento pela siderurgia, não só em termos de melhoria do produto final, mas também no que se refere a quantificação das emissões evitadas à atmosfera. E no caso de as emissões não poderem ser evitadas, que fosse estudada a possibilidade de se instuir taxas de emissão a serem pagas pelos usuários de carvão vegetal (ou mineral), de modo a reverter o montante apurado em projetos de minoração dos danos ambientais (principalmente à atmosfera) causados pela produção de gusa.

O estudo da viabilidade técnica e econômica de carvão vegetal, que não o de eucalipto (babaçu ou espécies vegetais amazônicas) , não deve ser abandonado. Embora, a princípio o carvão de babaçu e o de espécies vegetais da Amazônia apresentem problemas de escala de suprimento, necessita-se de mais estudos para uma quantificação mais apurada de suprimento que aquela ocorrente neste trabalho. Tanto o babaçu, quanto as espécies amazônicas possuem características regionais de uso, que poderiam ser aproveitadas, do ponto de vista social, numa linha de produção de insumos à indústria, mesmo em pequena escala.

Finalmente, já que a produção de gusa baseada em carvão vegetal é tão questionada, e que este serve apenas de insumo à produção de aço, surge a possibilidade de se analisar em profundidade o emprego de gás natural para a redução direta, visando-se a produção de aço. Como Carajás se acha dentro do raio de influência das jazidas de Urucu, nada mais oportuno que se estudar como se daria a inserção do gás no pólo guseiro de Carajás.

## ANEXO A

### 1.0. CONVERSÃO DE UNIDADES

#### energia, calor e trabalho

| Unidade   | joule (J)              | cal (°C)               | Btu                   | kWh                    | TCE*               | TOE**               |
|-----------|------------------------|------------------------|-----------------------|------------------------|--------------------|---------------------|
| joule (J) | 1                      | 4.184                  | 1055                  | $3.6 \times 10^6$      | $30 \times 10^9$   | $44 \times 10^9$    |
| cal(°C)   | 0.239                  | 1                      | 252.5                 |                        | $7.17 \times 10^9$ | $10.52 \times 10^9$ |
| Btu       | $9.48 \times 10^{-4}$  | $3.96 \times 10^{-3}$  | 1                     | 3412                   | $2.85 \times 10^7$ | $4.17 \times 10^7$  |
| kWh       | $2.78 \times 10^{-7}$  | $6.64 \times 10^{-8}$  | $2.93 \times 10^{-4}$ | 1                      | $8.34 \times 10^3$ | $1.22 \times 10^4$  |
| TCE       | $3.33 \times 10^{-11}$ | $7.96 \times 10^{-12}$ | $3.51 \times 10^{-8}$ | $1.198 \times 10^{-5}$ | 1                  | 1.467               |
| TOE       | $2.27 \times 10^{-11}$ | $5.43 \times 10^{-12}$ | $2.39 \times 10^{-8}$ | $8.174 \times 10^{-5}$ | 0.68               | 1                   |

\* TCE (tonelada de carvão equivalente):  $30 \times 10^9$  J ou 30 GJ/t

\*\*TOE(tonelada de óleo equivalente):  $44 \times 10^9$  J ou 44 GJ/t

#### múltiplos e submúltiplos

| múltiplos          | sub-múltiplos           |
|--------------------|-------------------------|
| K (quilo) $10^3$   | m (mili) $10^{-3}$      |
| M (mega) $10^6$    | $\mu$ (micro) $10^{-6}$ |
| G (giga) $10^9$    | n (nano) $10^{-9}$      |
| T (tera) $10^{12}$ | p (pico) $10^{-12}$     |
| P (peta) $10^{15}$ |                         |
| E (exa) $10^{18}$  |                         |

Fonte: Slessor (1982)

#### equivalência carvão vegetal e lenha

|                | quantidade | carvão vegetal | lenha    | massa específica (kg/m <sup>3</sup> ) |
|----------------|------------|----------------|----------|---------------------------------------|
| carvão vegetal | 1 kg       | 1 kg           | 2,694 kg | 250                                   |
| lenha          | 1 kg       | 0,371          | 1 kg     | 390                                   |



equivalência eucalipto (kg, m<sup>3</sup>, st)

|           |      | peso    |          |     | volume  |     |                     |
|-----------|------|---------|----------|-----|---------|-----|---------------------|
| eucalipto | 1 st | madeira | 577,6 kg | 95% | 0,87 st | 87% | 0,61 m <sup>3</sup> |
|           |      | casca   | 30,4 kg  | 5%  | 0,13 st | 13% | 0,09 m <sup>3</sup> |

Fonte: AAE, APFPC, ANFPC apud Fundação Florestar (1994)

## equivalência lenha residencial - comercial (st, kcal/kg)

|                                | kg/st | kcal/kg            |
|--------------------------------|-------|--------------------|
| lenha uso residencial (catada) | 200   | 3300 (umidade 25%) |
| lenha comercial                | 390   |                    |

## poderes caloríficos

|   |                            |
|---|----------------------------|
| carvão vegetal                                | 6.800 kcal/kg              |
| alcatrão                                      | 9.000 kcal/kg              |
| petróleo (864 kg/m <sup>3</sup> )*            | 10.900 kcal/kg             |
| gás natural úmido                             | 10.454 kcal/m <sup>3</sup> |
| gás natural seco                              | 9.256 kcal/m <sup>3</sup>  |
| carvão metalúrgico nacional                   | 6.800 kcal/kg              |
| carvão metalúrgico importado                  | 7.300 kcal/kg              |
| gás de coqueria                               | 4.500 kcal/kg              |
| coque de carvão mineral                       | 7.300 kcal/kg              |
| coque de petróleo (1.040 kg/m <sup>3</sup> )* | 8.500 kcal/kg              |

\* 20° C

## equivalência petróleo

|                                       |                           |
|---------------------------------------|---------------------------|
| 1 barril petróleo = 159 l             | 1 tEP ano* = 7,28 bep ano |
| 1 m <sup>3</sup> = 6,28 barris        | 1 bep ano = 0,137 tEP ano |
| 1 barril = 0,159 m <sup>3</sup>       | 1 tEP ano = 0,02 bep dia  |
| 1 m <sup>3</sup> petróleo** = 0,864 t | 1 bep dia = 50 tEP ano    |
| 1 tEP = 10.800 Mcal                   |                           |

\* ano = 365 dias

\*\*1989



## conversão tEP

1 t carvão mineral nacional: 0,630 tEP

1 t carvão mineral importado: 0,733 tEP

1 kWh: 0,29 tEP

1 m<sup>3</sup> óleo diesel: 0,848 tEP (852 kg/m<sup>3</sup> a 20 °C)

1 m<sup>3</sup> óleo combustível: 0,946 tEP (1013 kg/m<sup>3</sup> a 20 °C)

Fonte: Balanço Energético Nacional (1994)

relação aço/gusa ( t ) produzido X consumo de carvão vegetal ( m<sup>3</sup> )

1 t ferro-gusa consome: 3,5 m<sup>3</sup> - 3,78 m<sup>3</sup> ;

1 t aço consome: 2,8 m<sup>3</sup> ;

---

## ANEXO B

---

### GLOSSÁRIO

**BIOMASSA:** refere-se a qualquer matéria que se desenvolva naturalmente a partir de matéria biológica. O termo normalmente é aplicado a fontes de energia ou de matérias-primas de origem vegetal.

**BIOCOMBUSTÍVEL:** refere-se a combustível derivado de matéria orgânica vegetal, i.e., biomassa. Classificam-se como tal as fontes primárias como a lenha, bem como os combustíveis dela derivados, como o etanol, metanol e biogás.

**CARVÃO:** rocha sedimentar formada a partir de vegetação alterada por ação microbial, pressão, calor e tempo, e que se litifica entre estratos rochosos de origem inorgânica, formando leitos de carvão.

**CARVÃO VEGETAL:** diz-se do resíduo carbonoso amorfo produzido a partir da carbonização da lenha.

**COQUE:** é o resíduo sólido resultante da carbonização do carvão em retorta ou forno livre de contato com a atmosfera.

**LENHA:** se refere a madeira que será utilizada como fonte de combustível. Geralmente cocção ou aquecimento doméstico.

O seu poder calorífico depende da espécie e do teor de umidade presente. Twidell apud Slesser (1982) adota a média, em nível mundial, de 19 MJ/kg de poder calorífico médio para madeira seca, e densidade 0,9 t/m<sup>3</sup>.

**TONELADA DE CARVÃO EQUIVALENTE:** refere-se a quantidade de calor equivalente ao calor de combustão de uma tonelada de carvão.

**TONELADA DE ÓLEO EQUIVALENTE:** refere-se a quantidade de calor equivalente ao calor de combustão de uma tonelada de óleo.

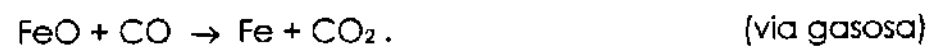
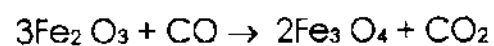
---

## ANEXO C

---

### EQUAÇÕES

Equações de redução que ocorrem durante a produção de ferro-gusa:



Fonte: CETEC apud CEMIG (1988) apud Medeiros (1993)

## ANEXO D

### CUSTO OPERACIONAL DE IMPLANTAÇÃO DE FLORESTA DE EUCALIPTO, CULTIVO MÍNIMO - REGIÃO SUDESTE (1994)

| ATIVIDADES                         | CUSTO (US\$/ha) |
|------------------------------------|-----------------|
| manutenção de estradas             | 28.00           |
| manutenção de cercas               | 18.00           |
| combate a formiga                  | 19.50           |
| coveamento                         | 26.00           |
| plantio (tratores + mão-de-obra)   | 29.20           |
| replantio                          | 6.50            |
| irrigação (tratores + mão-de-obra) | 14.50           |
| aldrinização                       | 6.50            |
| adubação                           | 48.50           |
| aplicação de herbicida             | 31.50           |
| capina manual                      | 26.00           |
| outras despesas                    | 66.63           |
| <b>sub-total (mão-de-obra) (I)</b> | <b>320.83</b>   |

| INSUMOS                     | QUANT/ha | CUSTO (US\$/ha) |
|-----------------------------|----------|-----------------|
| mudas (plantio e replantio) | 1 550 un | 93.00           |
| adubo                       | 195 t    | 44.85           |
| adubo                       | 220 t    | 25.30           |
| herbicida (roundup)         | 4.5 l    | 42.75           |
| herbicida (goal)            | 1.0 l    | 23.00           |
| formicida granulado         | 3.0 kg   | 1.20            |
| aldrin 5%                   | 0.1 kg   | 0.08            |
| outras despesas             |          | 60.99           |
| <b>sub-total (II)</b>       |          | <b>291.17</b>   |

CUSTO MÉDIO DE IMPLANTAÇÃO, REFORMA E MANUTENÇÃO DE FLORESTAS DE EUCALIPTO  
E PINUS - REGIÃO SUDESTE (1994)

| GÊNERO            | IMPLANTAÇÃO<br>(US\$/ha) | REFORMA<br>(US\$/ha) | MANUTENÇÃO<br>(US\$/ha) ** |
|-------------------|--------------------------|----------------------|----------------------------|
| <i>Eucalyptus</i> | 400.00                   | 650.00               | 135.00                     |
| <i>Pinus</i>      | 330.00                   | 550.00               | 135.00                     |

\*\* custo/ha/ano

CUSTO DE MANUTENÇÃO DE FLORESTA DE EUCALIPTO - REGIÃO SUDESTE (1994)

| ATIVIDADES                         | 1º ANO<br>(US\$/ha) | 2º ANO<br>(US\$/ha) | 3º ANO<br>(US\$/ha) |
|------------------------------------|---------------------|---------------------|---------------------|
| adubação                           | 29.00               | 37.20               | 37.20               |
| aplicação de calcário              | 30.00               |                     |                     |
| aplicação de herbicida             | 21.80               |                     |                     |
| conservação de estradas            | 12.00               | 24.00               | 24.00               |
| conservação de cercas              | 14.00               |                     |                     |
| combate a formiga                  | 5.20                | 10.40               | 10.40               |
| aceiros                            |                     | 39.80               | 39.80               |
| outras despesas                    | 30.05               | 29.82               | 29.82               |
| <b>sub-total (mão-de-obra) (I)</b> | <b>142.45</b>       | <b>142.22</b>       | <b>142.22</b>       |
| INSUMOS                            |                     |                     |                     |
| adubo                              | 25.30               |                     |                     |
| calcário                           | 22.00               |                     |                     |
| herbicida (roundup)                | 33.25               |                     |                     |
| herbicida (goal)                   | 23.00               |                     |                     |
| formicida granulado                |                     | 2.40                | 2.40                |
| adubo                              |                     | 7.00                | 7.00                |
| outras despesas                    | 27.00               | 2.38                | 2.38                |
| <b>sub-total (II)</b>              | <b>130.55</b>       | <b>11.78</b>        | <b>11.78</b>        |

**VALOR DA TERRA NUA PARA REFLORESTAMENTO (1993)**

mínimo (US\$/ha) 40,16  
máximo (US\$/ha) 8 031,51  
médio (US\$/ha) 1 512,61

CUSTO MÉDIO DE CORTE DE LENHA (1993) (US\$/ha) 2,29  
CUSTO MÉDIO DE TRANSPORTE DE LENHA(1993) (US\$/ha) 5,65  
CUSTO MÉDIO DE CARVOEJAMENTO (1993) (US\$/ha) 16,67

**PREÇO MÉDIO DOS PRODUTOS DE MADEIRA - REGIÃO SUDESTE (1993/94)**

laminação (pinus) US\$/st 16,75  
processo (eucalipto) US\$/st 12,25  
poste (eucalipto) US\$/st 84,46

PREÇO MÉDIO DA LENHA (US\$/st) 11,23 (1993/94) - Região Sudeste

Fonte: Fundação Florestar (1993/94)

---

## BIBLIOGRAFIA

---

ACKERMAN, F. ; ALMEIDA, P.F.de. Iron and charcoal - the fuelwood crisis in Minas Gerais. *Energy Policy*, v. 18 , n.7 , p. 661-68, 1990.

ADAMS, F.; VIAL, J. Explaining recent metals price swings - exchange rates and structural considerations. *Resources Policy*, v.14, n.2, p. 85-96, 1988.

ALBUQUERQUE, J.F. Pólo guseiro de Carajás. *Brasil Mineral*, n.31, p.50-54, 1986

ALCOFARADO, F. Biomass as a energetic resource in Brazil. In: VI CONGRESSO BRASILEIRO DE ENERGIA E I SEMINÁRIO LATINO AMERICANO DE ENERGIA, 2. , Rio de Janeiro, 1993. *Anais*. Rio de Janeiro, CBE, 1993. p. 403-7.

ALHO, C.J.R. Manejo e conservação da natureza. In: ALMEIDA JR, J.M.G. *Carajás: desafio político, ecologia e desenvolvimento*. Brasília, CNPq-Editora Brasiliense. 1986. p.514-533.

ALMEIDA, M.R.de. Recuperação de alcatrão em fornos de alvenaria. In: PRODUÇÃO E UTILIZAÇÃO DE CARVÃO VEGETAL/CURSO E EXPOSIÇÃO DE FORNOS DE CARBONIZAÇÃO, 1. , Belo Horizonte, 1982. *Anais*. Minas Gerais, CETEC, 1982. p.175-180.

ALMEIDA, M.R.de.; REZENDE, M.E.A.de. O processo de carbonização contínua da madeira. In: PRODUÇÃO E UTILIZAÇÃO DE CARVÃO VEGETAL/CURSO E EXPOSIÇÃO DE FORNOS DE CARBONIZAÇÃO, 1. , Belo Horizonte, 1982. *Anais*. Minas Gerais, CETEC, 1982. p. 279-318.

ALMEIDA, A.W.B.de. Estrutura fundiária e expansão camponesa. In: ALMEIDA JR, J.M.G. *Carajás: desafio político, ecologia e desenvolvimento*. Brasília, CNPq-Editora Brasiliense. 1986. p. 265-293.

ARAÚJO, N.W. O carvão no Brasil. *Energia Fontes Alternativas*, v. 4, n.19, p.26-43, 1982.

ASSI, A; LEAL, F.L; BORBA, P.E.M; SILVA, Y.I.A.da. Perspectivas do carvão de babaçu como alternativa energética na siderurgia brasileira. *Metalurgia - ABM*, v.38, n. 292, p.125-131, 1982.



ASSIS, P.S.; BRAGA, R.N.B. **Análise das limitações e capacidade de altos-fornos a carvão vegetal.** Belo Horizonte, Cia. Aços Especiais Itabira - Acesita, 1977. Xerocopiado/

ASSIS, P.S.de. ; MARINHO, L.Z.de.A. ; PORTO, F.M. Utilização de carvão vegetal na siderurgia. In: **PRODUÇÃO E UTILIZAÇÃO DE CARVÃO VEGETAL/CURSO E EXPOSIÇÃO DE FORNOS DE CARBONIZAÇÃO**, 1. , Belo Horizonte, 1982. **Anais.** Minas Gerais, CETEC. p. 279-318.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CARVÃO VEGETAL. **Manual do produtor independente de carvão vegetal.** Belo Horizonte, ABRACAVE, s.d.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CARVÃO VEGETAL. **Anuário Estatístico.** Belo Horizonte, 1994.

AUTY, R.M. Producer homogeneity, heightened uncertainty and mineral market rigidity. **Resources Policy**, v.13, n.3, p.189-206, 1987.

AUTY, R.M. State enterprise and resource based industry in oil exporting countries. **Resources Policy**, v.14, n.4, p.275-287, 1988.

AUTY, R. ; WARHURST, A. Sustainable development in mineral exporting economies. **Resources Policy**, v.19, n.1, p.14-29, 1993.

BAHIA, R.R.P. Biomassa florestal no Estado do Pará. **Pará Desenvolvimento**, n.22, p.46-52, 1987.

BAHIA, R.R.P. Os requisitos energéticos para o Programa Grande Carajás. In: **V CONGRESSO BRASILEIRO DE ENERGIA**, 3. , Rio de Janeiro, 1990. **Anais.** Rio de Janeiro, CBE. p. 974-980. 1990.

BAHIA, R.R.P. Projeto Carajás: requisitos energéticos, impactos e integração na economia paraense. In: **O DESENVOLVIMENTO E A DEFESA DA ECONOMIA PARAENSE**, 1. , Belém, 1991. **Anais.** Pará, FIEPA. p.198-207.

BAHIA, R.R.P. O gás natural e a integração energética pan-amazônica. In: **A Questão Energética na Amazônia: avaliação e perspectivas sócio-ambientais**, set. 94. /No prelo/

BALLONI, E.A. ; MIGLIORINI, A.J. ; BRITO, J.O. Plantar florestas de crescimento rápido para fins energéticos. **Culturas Energéticas - Biomassa**, v.1, n.1, p.35-42, 1982.

BALLONI, E.A. ; MIGLIORINI, A.J. ; BRITO, J.O. **Produção de energia através de florestas de rápido crescimento.** Belo Horizonte, CETEC, 1983. Xerocopiado/

BARNARD, G.W. Woodfuel in developing countries. In: HALL, D.O. ; OVEREND, R.P. **Biomass: regenerable energy.** Great Britain. John Wiley & Sons, 1987. p.349-366.

BARNES, D.F. Population growth, wood fuels, and resource problems in Sub-Saharan Africa. **Industry and Energy Department Working Paper. Energy Series Paper. World Bank**, n.26, 1990.

BATAUS, Y.S.de. ; PASTORE JÚNIOR, F. ; OKINO, E.Y.A. ; PASTORE, T.C.M. **Carbonização integral de frutos de palmáceas**, Belo Horizonte, CETEC, (s.d.). Xerocopiado/

BELCHIOR, F. Grupos externos podem associar-se à Petrobrás na venda de gás da Amazônia. **Gazeta Mercantil**, São Paulo, 27/29 jan. 1995. p.12.

BERNINI, E.J. Amazônia, meio ambiente e suprimento elétrico. **São Paulo Energia**, Ano VII, n.63, p.19-21, 1990.

BEZERRA, F.M. Aspectos da questão energética florestal do Ceará. In: VI CONGRESSO BRASILEIRO DE ENERGIA E I SEMINÁRIO LATINO AMERICANO DE ENERGIA, 1. , Rio de Janeiro, 1993. **Anais**. Rio de Janeiro, CBE. p.191-198.

BOBERG, J. Competition in Tanzanian woodfuel markets. **Energy Policy**, v. 21, n.5, p. 474-490, 1993.

BORGES, M.M. A formação de maciços florestais nos trópicos. In: BRITO, S.de.S. **Desafio amazônico - o futuro da civilização dos trópicos**. Brasília, SCT/CNPq-Editora da UNB, 1990. p.135-151.

BOURKE, I.J. Do forest products trade barriers disadvantage the developing countries?. **Resources Policy**, v.14, n.1, p.47-58, 1988.

BOUTOUSSOV, M. The integrated quality concept - an approach to balanced industrial activity. **Resources Policy**, v.14, n. 3, p. 218-220, 1988.

BRANCO, M.A.C. Tendências e Perspectivas da siderurgia a carvão vegetal. In: VI ENCONTRO TÉCNICO FLORESTAL, 1. , Belo Horizonte, 1994. **Anais**. Minas Gerais, ABRACAVE. p.25-34.

BRITO, J.O. A madeira como fonte de energia já é uma realidade e não uma alternativa. **Energia: Fontes Alternativas**, v.1, n.4, p. 34-35, 1991.

CAIRNCROSS, F. **Meio ambiente; custos e benefícios**. São Paulo, Nobel, 1992.

CAMARGOS, R.P. ; LEROY, L.M.J. Metodologia para determinação do potencial energético de florestas nativas e plantadas. In: VI CONGRESSO BRASILEIRO DE ENERGIA E I SEMINÁRIO LATINO AMERICANO DE ENERGIA, 2. , Rio de Janeiro, 1993. **Anais**. Rio de Janeiro, CBE. p.637-643.

CAMPBELL, H.F. ; LINDNER, R.K. Does taxation alter exploitation? The effect of uncertainty and risk. **Resources Policy**, v.13, n.4, p. 265-278, 1987.

CASTRO, C.A.de. Planejamento e implantação de uma unidade de produção de carvão vegetal. In: **GASEIFICAÇÃO DE MADEIRA E CARVÃO VEGETAL**, 1. , Belo Horizonte, 1981. **Anais**. Minas Gerais, CETEC. p.45-52.

CASTRO, P.F.de. Obtenção de alcatrão vegetal em fornos de alvenaria. In: **PRODUÇÃO E UTILIZAÇÃO DE CARVÃO VEGETAL/CURSO E EXPOSIÇÃO DE FORNOS DE CARBONIZAÇÃO**, 1. , Belo Horizonte, 1981. **Anais**. Minas Gerais, CETEC. p.189-196.

CHIDUMAYO, E.N. **Zambian charcoal production: Miombo Woodland recovery.** *Energy Policy*, v. 21, n.5, p.586-597, 1993.

CHOPRA, K. Social forestry projects - an approach to evaluation. *Resources Policy*, v. 13, n.2, p.142-158, 1987.

CHRISTODOULOU, D. Gás natural - o novo componente da matriz energética brasileira. *Energia: Fontes Alternativas*, v.8, n. 43/44, p.12-17, 1986.

COMPANHIA BRASILEIRA DE AÇO. O Carvão de babaçu. *Mineração e Metalurgia*, n.482, p.16-17, s.d.

COSTA, J. M.M.da. Impactos econômicos-territoriais do atual padrão de ocupação da Amazônia. In: COSTA, J.M.M.da. **Amazônia - desenvolvimento ou retrocesso.** Belém, Edições CEJUP, 1992. p. 40-115.

COMPANHIA VALE DO RIO DOCE. **Carvão de babaçu.** Belo Horizonte, CETEC, 1980. Xerocopiado/

COMPANHIA VALE DO RIO DOCE. **Viabilidade do carvão de babaçu em eletrometalurgia na área de influência do Projeto Carajás.** Belo Horizonte, CETEC, 1981. Xerocopiado/

DANTAS FILHO, E.R. Gás natural: uma análise da conjuntura atual. *Energia: Fontes Alternativas*, v.9, n. 47/48, p.14-19, 1987.

DAVIS, H.C. ; CHERNIACK, H. Interindustry approaches to the analysis of a supply disruption of a critical resource. *Resources Policy*, v.13, n.1, p. 47-54, 1987.

DEGLISE, X; MAGNE, P. Pyrolysis and industrial charcoal. In: HALL, D.O; OVEREND, R.P. **Biomass; regenerable energy.** Great Britain, John Wiley & Sons, 1987. p. 221-235.

DIAS, S.da.F. Considerações sobre Legislação Florestal e sua aplicação na Amazônia: caso particular do carvão vegetal para sidero-metalurgia. *Pará Desenvolvimento*, n. 24, p.50-54, 1988.

von DROSTE, B. ; SCHEKENBERG, K. Ecological impacts of recent economic development and possible alternatives. In: Aragón, L.E. , org. **A desordem**

**ecológica na Amazônia.** Belém, UFPa, 1991, p.69-90, (Série Cooperação Amazônica n.7).

ELLEGARD, A. ; EGNÉUS, H. Urban energy: exposure to biomass fuel pollution in Luboka. **Energy Policy**, v. 21, n.5, p. 615-622, 1993.

Mac FADYEN, A.J. Decision making with expected values and certainty equivalences - a diagramatic comparison. **Resources Policy**, v.14, n. 2, p.146-149, 1988.

FALESI, I.C. Efeitos da queima da biomassa florestal nas características do solo da Amazônia. In: COSTA, J.M.M.da. **Amazônia - desenvolvimento ou retrocesso.** Belém, Edições CEJUP, 1992. p.140-162.

FALEIRO, A.G. ; CORTÊZ E SILVA, R. Uso de oxigênio como fator de produtividade em altos-fornos a carvão vegetal. In: VI ENCONTRO TÉCNICO FLORESTAL, 1. , Belo Horizonte, 1994. **Anais.** Minas Gerais, ABRACAVE. p.93-105.

FEARNSIDE, P.M. Os planos agrícolas: desenvolvimento para quem e por quanto tempo?. In: ALMEIDA JR, J.M.G. **Carajás: desafio político, ecologia e desenvolvimento.** Brasília, CNPq-Editora Brasiliense, 1986. p.362-418.

FEICHTINGER, F. Using growth curves to forecast long-term trends for processed raw materials. **Resources Policy**, v.14, n. 4, p.288-298, 1988.

FEINSTEIN, C. ; van der PLAS, R. Improving charcoaling efficiency in the traditional rural sector. **Industry and Energy Department Working Paper. Energy Series Paper.** World Bank, n.38, 1991.

FINLAYSON, P.C. ; ROBINSON, J.M. ; CRUICKSHANK, T.D. O uso do carvão de qualidade inferior. **Energia: Fontes Alternativas**, v.1, n.5, p. 47-58, 1979.

FONSECA, F. Siderurgia na Amazônia é viável com carvão mineral. **Minérios - extração e processamento**, Ano XIII, n.150, p.64-68, 1989.

FONSECA, F.F.A. Siderurgia a carvão vegetal em Carajás: problemas e perspectivas. **Pará Desenvolvimento**, n. 26, p.58-60, 1990.

FONTES, P.J.P.de. **A produção de carvão vegetal com oito espécies florestais da Região Amazônica em forno metálico.** Belo Horizonte, CETEC, s.d. Xerocopiado/

FRASER, S. ; BARSOTTI, A. ; ROGICH, D. Sorting out material issues. **Resources Policy**, v.14, n.1, p.3-20, 1988.

FREITAS, M. L. D.de. O homem e o seu habitat: os impactos humanos do modelo de ocupação recente da Amazônia e as correções possíveis - uma visão específica. In: Aragón, L.E. , org. **A desordem ecológica na Amazônia.** Belém, UFPa, p.183-92, 1991. (Série Cooperação Amazônica n.7).

FUNDAÇÃO CENTRO TECNOLÓGICO DE MINAS GERAIS. **Manual de construção e operação de fornos de carbonização**. Belo Horizonte, 1982. (Série de Publicações Técnicas)

FUNDAÇÃO CENTRO TECNOLÓGICO DE MINAS GERAIS. **Bibliografia brasileira de carvão vegetal**. Belo Horizonte, 1983. (Série de Publicações Técnicas)

FUNDAÇÃO CENTRO TECNOLÓGICO DE MINAS GERAIS. **Manual de construção e operação de fornos rabo quente**. Belo Horizonte, 1988. (Série de Publicações Técnicas)

FUNDAÇÃO FLORESTAR. **Florestar estatístico**, v. 2, n. 4, 1994.

GOLDEMBERG, J. Biomassa como fonte de energia. **Energia: Fontes Alternativas**, v.1, n. 2, p.21-23, 1979.

GOLDEMBERG, J. ; JOHANSSON, T.B. ; REDDY, A.K.N. ; WILLIAMS, R.H. **Energy for a sustainable world**, Índia, Wiley Eastern Limited, 1988.

GOMES, P.A; OLIVEIRA, J.B.de. Teoria da carbonização da madeira. In: **USO DA MADEIRA PARA FINS ENERGÉTICOS**, 1. , Belo Horizonte, 1980. **Anais**. Minas Gerais, CETEC. p. 27-42.

GOWEN, M.M. Biofuel versus fossil fuel economics in developing countries: how green is the pasture?. **Energy Policy**, v.17, n.5, p.455-70, 1989.

GUEDES, A.A. ; MARCUSSO, J.L. Anos 90: a década do gás natural no Brasil. **Petro & Gás**, n.41, p.10-17, 1992.

GUIMARÃES, S.T.A. ; JARDIM, L.S.B. Aspectos econômicos da produção de carvão vegetal. Transporte, manuseio, estocagem. In: **PRODUÇÃO E UTILIZAÇÃO DE CARVÃO VEGETAL/CURSO E EXPOSIÇÃO DE FORNOS DE CARBONIZAÇÃO**, 1. , Belo Horizonte, 1982. **Anais**. Minas Gerais, CETEC. p.125-140.

HALL, D.O. ; BARNARD, G.W. ; MOSS, P.A. **Biomass for energy in the developing countries: current role, potential, problems, prospects**. England, Pergamon Press, 1982.

HALL, D.O. ; OVEREND, R.P. Biomass forever. In: HALL, D.O. ; OVEREND, R.P. **Biomass; regenerable energy**. Great Britain, John Wiley & Sons. 1987. p.469-73.

HALL, D.O. Biomass energy. **Energy Policy**, v.19, n.8, p.711-37, 1991.

HALL, D.O. ; ROSILLO-CALLE, F. ; de GROOT, P. Biomass energy: lessons from case studies in developing countries. **Energy Policy**, v.21, n.1, p.62-73, 1992.

HALL, D.O. ; ROSILLO-CALLE, F. ; WILLIAMS, R.H. ; WOODS, J. Biomass for energy: supply prospects. In: JOHANSSON, T.B. ; KELLY, N. ; REDDY, A.K.N. ;

WILLIAM, R.H. **Renewable energy - sources for fuels and electricity**, California, Island Press, 1992. p.593-651.

HALLET, A.J.H. Would commodity market stabilization agreements redistribute economic resources to developing countries? - the case of copper. **Resources Policy**, v.13, n.2, p.103-112, 1987.

HESIER, R.H. Charcoal production and environmental degradation: environmentally history, selective harvesting and post-harvesting management. **Energy Policy**, v.21, n. 5, p. 491-509, 1993.

HOLMES, M.J. Input prices and material substitution - choice of methodology for a disaggregated study. **Resources Policy**, v.14, n.2, p.112-20, 1988.

HOMMA, A.K.O. A (ir)racionalidade do extrativismo vegetal como paradigma de desenvolvimento agrícola para a Amazônia. In: COSTA, J.M.M.da. **Amazônia - desenvolvimento ou retrocesso**. Belém, Edições CEJUP, 1992. p.163-207.

HOMMA, A.K.O. Os países desenvolvidos devem pagar pela preservação da Amazônia?. **Pará Desenvolvimento**, n.28, p.6-9, 1993.

HUMPHEREYS, D. Are metal markets efficient?. **Resources Policy**, v.13, n.3, p.247-48, 1987.

HUMPHEREYS, D. Metal prices in the 1980s - a view from the supply side. **Resources Policy**, v.14, n.4, p.247-56, 1988.

HURST, C. Contratual arrangements for the exploitation of natural gas in developing countries. **Resources Policy**, v.14, n.3, p.159-72, 1988.

INSTITUTO BRASILEIRO DE SIDERURGIA. **Anuário estatístico da indústria siderúrgica brasileira**. Rio de Janeiro. 1993.

INSTITUTO DE DESENVOLVIMENTO ECONÔMICO E SOCIAL DO PARÁ. **Fluxo energético do Estado do Pará - 1985**. Belém. 1987.

INSTITUTO DE DESENVOLVIMENTO ECONÔMICO E SOCIAL DO PARÁ. **Agricultura e siderurgia numa região de fronteira - os pequenos produtores rurais face a implantação do pólo siderúrgico na Amazônia Oriental Brasileira**. Belém, IDESP, 1988. (Relatórios de Pesquisa, n.14).

INSTITUTO DE DESENVOLVIMENTO ECONÔMICO E SOCIAL DO PARÁ. **Fluxo energético do Estado do Pará - 1980/1987**. Belém. 1990.

INSTITUTO DE DESENVOLVIMENTO ECONÔMICO E SOCIAL DO PARÁ. **Anuário estatístico do Estado do Pará 1988/1989**. Belém. 1990.

INSTITUTO DE DESENVOLVIMENTO ECONÔMICO E SOCIAL DO PARÁ.  
**Estudo do emprego e da renda na área paraense da Estrada de Ferro Carajás.**  
 Belém, IDESP, 1990. (Relatórios de Pesquisa, n.15).

JACOB, W.S. Madeira, uma opção para o carvão mineral e o óleo combustível.  
**Culturas Energéticas: Biomassa**, v.1, n.2, p.34-7, 1982.

JACOBSON, D.M. ; TURNER, R.K. ; CHALLIS, A.A.L. A reassessment of the  
 strategic materials question. **Resources Policy**, v.14, n.2, p.74-84, 1988.

JOHANSSON, T.B. ; KELLY, N. ; REDDY, A.K.N. ; WILLIAMS, R.H. Renewable  
 fuels and electricity for a growing world economy - defining and achieving the potential.  
 In: JOHANSSON, T.B. ; KELLY, N. ; REDDY, A.K.N. ; WILLIAMS, R.H.  
**Renewable energy - sources for fuels and electricity**, California, Island Press, 1992.  
 p.1-72.

JUVILLAR, J.B. Tecnologia de transformação da madeira em carvão. In: USO DA  
 MADEIRA PARA FINS ENERGÉTICOS. 1. , Belo Horizonte, 1980. **Anais**. Minas  
 Gerais, CETEC. p.67-82.

LANGE, F.M.Q. Perspectivas para o uso de carvão na indústria. **Energia: Fontes  
 Alternativas**, v.1, n.4, p.32-3, 1979.

LARSON, E.D. **Trends in the consumption of energy-intensive basic materials in  
 the industrialized countries and implications for developing regions.** In:  
 INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON ENVIRONMENTALLY SOUND ENERGY  
 TECHNOLOGIES AND THEIR TRANSFER TO DEVELOPING COUNTRIES AND  
 EUROPEAN ECONOMIES IN TRANSITION, Milan, p.21-25p. 1991.  
 Xerocopiado/ -

LIMA, W.de.P. **Impacto ambiental do eucalipto.** São Paulo, EDUSP, 1993.

LIRA, S.R.B. , coord. **Cenários sócio-econômicos do Pará (91/95).** Belém, IDESP,  
 1991. (Boletim do IDESP).

LOHANI, P.R. ; TILTON, J.E. A cross-section analysis of metal intensity of use in the  
 less developed countries. **Resources Policy**, v.19, n.2, p.145-54, 1993 .

LOONEY, R.E. ; KNOUSE, C.R. Profiles of Third World mineral producers.  
**Resources Policy**, v.13, n.1, p.55-67, 1987.

LOUREIRO, V.R. **Amazônia - estado, homem, natureza.** Belém, Edições CEJUP,  
 1992.

MACHADO, M.A.A.C. Carvão vegetal, energia barata e abundante para a indústria.  
**Culturas Energéticas: Biomassa**, v.1, n.1, p.22-7, 1982.

- MACHADO, P.F. O pólo siderúrgico de Carajás: impactos e alternativas possíveis. In: Costa, J.M.M.da. **Amazônia - desenvolvimento ou retrocesso**. Belém, Edições CEJUP, 1992. p.284-327.
- MAGALHÃES, J.G.R. Tecnologia de obtenção da madeira. In: **USO DA MADEIRA PARA FINS ENERGÉTICOS**, 1. , Belo Horizonte, 1980. **Anais**. Minas Gerais, CETEC. p.55-66.
- MAGALHÃES, J.P. **Temas de direito ecológico**, 1 ed. Brasília, Gráfica e Editora Completa Ltda, 1992.
- MALLET, S. ; GUERRA, G. Emissão de CO<sub>2</sub> - o uso de energia renovável como forma de redução. In: **VI CONGRESSO BRASILEIRO DE ENERGIA E I SEMINÁRIO LATINO AMERICANO DE ENERGIA**, 2. , Rio de Janeiro, 1993. **Anais**. Rio de Janeiro, CBE. p.723-9.
- MARKOWSKI, A.; RADETZKI, M. State ownership and the price sensitivity of supply - the case of the copper mining industry. **Resources Policy**, v.13, n.1, p.19-34, 1987.
- MARTINS, M. Madeira como fonte de energia. In: **USO DA MADEIRA PARA FINS ENERGÉTICOS**, 1. , Belo Horizonte. 1980. **Anais**. Minas Gerais, CETEC. p.9-26.
- MATOS, M.de. ; CASTRO, L.T.de. ; GONÇALVES, L.J. 1981 - O comportamento eletrometalúrgico do carvão de babaçu na produção de gusa em forno elétrico. **Revista-CVRD**. Belo Horizonte, v.2, n.2, 1981. Xerocopiado/
- MATOS, M.de. ; ALMEIDA, M.R.de. ; OLIVEIRA, L.T.de. Características dos produtos de carbonização da madeira. In: **GASEIFICAÇÃO DA MADEIRA E CARVÃO VEGETAL**, 1. , Belo Horizonte, 1981. **Anais**. Minas Gerais, CETEC. p.35-44.
- MATOS, M.de. ; RIOS, C.A. Reatividade de carvão vegetal. In: **PRODUÇÃO E UTILIZAÇÃO DE CARVÃO VEGETAL/CURSO E EXPOSIÇÃO DE FORNOS DE CARBONIZAÇÃO**, 1. , Belo Horizonte, 1982. **Anais**. Minas Gerais, CETEC. p.91-113.
- MATTOS, A.M. O interesse nacional e os interesses internacionais na Amazônia Brasileira. In: COSTA, J.M.M.da. **Amazônia - desenvolvimento ou retrocesso**. Belém, Edições CEJUP, 1992. p.116-39.
- MEDEIROS, J.X.de. Suprimento energético de carvão vegetal no Brasil: aspectos técnicos, econômicos e ambientais. In: **VI CONGRESSO BRASILEIRO DE ENERGIA E I SEMINÁRIO LATINO AMERICANO DE ENERGIA**, 1. , Rio de Janeiro, 1993. **Anais**. Rio de Janeiro, CBE. p.107-12.



MENDES, C.J. ; REZENDE, G.C.de. ; SUITER FILHO, W. ; MORAES, T.S.de.A. **Considerações sobre o potencial silvicultural e energético de quatro espécies nativas.** Belo Horizonte, CETEC, s.d. Xerocópia/

MENDES, M.G. ; GOMES, P.A. ; OLIVEIRA, J.B.de. Propriedades e controle de qualidade do carvão vegetal. In: **PRODUÇÃO E UTILIZAÇÃO DE CARVÃO VEGETAL/CURSO E EXPOSIÇÃO DE FORNOS DE CARBONIZAÇÃO**, 1. , Belo Horizonte, 1982. **Anais. Minas Gerais, CETEC.** p.75-90.

MILLS, E. ; WILSON, D. ; JOHANSSON, T.B. Getting started: no-regrets strategies for reducing greenhouse gas emissions. **Energy Policy**. v. 19, n. 6, p.526-42, 1991.

MINISTÉRIO DAS MINAS E ENERGIA. **Balanco energético nacional - ano base 1993.** Brasília, MME, 1994.

MINISTÉRIO DAS MINAS E ENERGIA. **Boletim de preços 1994.** Brasília, MME, n.87. 1994.

van MOESEKE, P. Fair depletion rates. **Resources Policy**, v.14, n.2, p.135-43, 1988.

MORAN, E. F. Ecologia humana, colonização e manejo ambiental. In: Aragón, L.E. , org. **A desordem ecológica na Amazônia.** Belém, UFPa, p.129-48, 1991. (Série Cooperação Amazônica n.7).

MOREIRA, J.R. Policy instruments for CO<sub>2</sub> mitigation: the case of Brazil. **Network News**, v.7, n.3, p.8-11p, 1993.

MOREIRA, J.G.S. ; COLACCHI, F. ; MARTINS, L.F.C. ; PINHÃO, C.M. ; HERSZTERG, J. Contribuição das energias renováveis para redução das emissões de gases poluidores: perspectiva da matriz energética vis-à-vis ao meio ambiente. VI CONGRESSO BRASILEIRO DE ENERGIA E I SEMINÁRIO LATINO AMERICANO DE ENERGIA, 1. , Rio de Janeiro, 1993. **Anais.** Rio de Janeiro, CBE. p.240-47.

MOREIRA, L.A.de.A. ; FORTES FILHO, H.de.S.R. Escoamento de gás natural na região amazônica via liquefação. IV SEMINÁRIO INTERNACIONAL SOBRE GÁS NATURAL, 1. , Rio de Janeiro, 1993. **Anais.** Rio de Janeiro, IBP. p.41-50.

MURRAY, C.H. ; de MONTALAMBERT, M.R. Wood, still a neglected energy source. **Energy Policy**, v.20, n.6, p.516-21, 1992.

NETO, M. **O enigma Amazônia - desafio ao futuro.** Belém, Cultural CEJUP, 1991.

OLIVEIRA, L.T.de. ; ALMEIDA, M.R.de. Avaliação de carvão vegetal. In: **USO DA MADEIRA PARA FINS ENERGÉTICOS**, 1. , Belo Horizonte, 1980. **Anais.** Minas Gerais. CETEC. p.43-52.

OLIVEIRA, J.B.de. ; VIVACQUA FILHO, A. ; MENDES, M.G. ; GOMES, P.A. Produção de carvão vegetal - aspectos técnicos. In: PRODUÇÃO E UTILIZAÇÃO DE CARVÃO VEGETAL/CURSO E EXPOSIÇÃO DE FORNOS DE CARBONIZAÇÃO, 1. , Belo Horizonte, 1982. *Anais. Minas Gerais. CETEC.* p.59-74.

OLIVEIRA, J.B.de. ; GOMES, P.A. ; ALMEIDA, M.R.de. Estudos preliminares de normalização de testes de controle de qualidade do carvão vegetal. In: PRODUÇÃO E UTILIZAÇÃO DE CARVÃO VEGETAL/CURSO E EXPOSIÇÃO DE FORNOS DE CARBONIZAÇÃO, 1. , Belo Horizonte, 1982. *Anais. Minas Gerais. CETEC.* p.7-38.

OLIVEIRA, J.B.de. ; GOMES, P.A. ; ALMEIDA, M.R.de. Propriedades do carvão vegetal. In: PRODUÇÃO E UTILIZAÇÃO DE CARVÃO VEGETAL/CURSO E EXPOSIÇÃO DE FORNOS DE CARBONIZAÇÃO, 1. , Belo Horizonte, 1982. *Anais. Minas Gerais. CETEC.* p.39-63.

OLIVEIRA, J.B.de. ; GOMES, P.A. ; ALMEIDA, M.R.de. Caracterização e otimização do processo de fabricação de carvão vegetal em fornos de alvenaria. In: PRODUÇÃO E UTILIZAÇÃO DE CARVÃO VEGETAL/CURSO E EXPOSIÇÃO DE FORNOS DE CARBONIZAÇÃO, 1. , Belo Horizonte, 1982. *Anais. Minas Gerais. CETEC.* p.63-102.

OLIVEIRA, J.B.de. ; GOMES, P.A. ; MENDES, M.G. Otimização do processo de carbonização da madeira e do coco babaçu em fornos de alvenaria. In: PRODUÇÃO E UTILIZAÇÃO DE CARVÃO VEGETAL/CURSO E EXPOSIÇÃO DE FORNOS DE CARBONIZAÇÃO, 1. , Belo Horizonte, 1982. *Anais. Minas Gerais. CETEC.* p.103-30.

OLIVEIRA, M.de. Abertura à importação amplia crise do carvão. **Brasil Mineral**, Ano VIII, n.82, p.12-6p, 1990.

OLIVEIRA, A.U.de. **Integrar para não entregar - políticas públicas e Amazônia.** Campinas, Editora Papyrus. 2 ed. 1991.

ORSOLON, A.M. ; MALHEIROS, T.M. ; PEREIRA, S.R.de.B. ; AMARAL, F. ; SILVA, D.M. **Planejamento ambiental.** Rio de Janeiro, Thex Editora Ltda, 1993.

OSBORNE, D.G. **Coal: preparation technology.** Oxford. Graham & Trotman, 1988. v.1.

PALADINI, E.P. Estratégia de aço para a indústria carbonífera. **Brasil Mineral**, Ano VIII, n.82, p.17-23, 1990.

PAMPLONA, G. ; RODRIGUES, A. História sem fim. **Isto É**, n. 1342, p. 46-7, 1995.

- PANDOLFO, C. A desordem ecológica na Amazônia. In: Aragón, L. E. , org. **A desordem ecológica na Amazônia**. Belém, UFPa, p.109-13, 1991. (Série Cooperação Amazônica n.7).
- PANDOLFO, C. **Amazônia brasileira - ocupação, desenvolvimento e perspectivas atuais e futuras**. Belém, Editora CEJUP, 1994.
- PASTORE, T.C.M. ; OKINO, E.Y.A. ; PASTORE JÚNIOR, F. **Carbonização de madeiras da Amazônia - parte 1: Floresta Nacional do Tapajós**. Belo Horizonte, CETEC, s.d. Xerocopiado/
- PEARCE, D. Valuing natural resources and the implications for land and water management. **Resources Policy**, v.13, n. 4, p.255-64, 1987.
- PENEDO, W. R. Madeira, carvão e gusa. In: **USO DA MADEIRA PARA FINS ENERGÉTICOS**, 1. , Belo Horizonte, 1980. **Anais**. Minas Gerais, CETEC. p.113-142.
- PIMENTEL, D. ; CHICK, S. ; VERGARA, W. Energy from forests: environmental and wildlife implications. **Interciencia**, v.6, n.5, p.329-35, 1981.
- POOLE, A.D. Bioenergy in Brazil. **Network News**, v.7, n.2, p.1-5, 1993.
- RAMOS, R.de.A. Carvão nacional e sua contribuição na solução do problema energético. **Energia: Fontes Alternativas**, v.4, n.19, p.13-24, 1982.
- RAMOS, F. Conservação de energia e política de exportação de metais básicos. **São Paulo Energia**. Ano VI, n.55, p.3-12, 1989.
- REIS, M.das.G.F. ; REIS, G.G.dos. O reflorestamento e seus impactos ambientais. In: **VI ENCONTRO TÉCNICO FLORESTAL**, 1. , Belo Horizonte, 1994. **Anais**. Minas Gerais, ABRACAVE. p.1-24.
- REZENDE, G.C.de. Implantação e produtividade de florestas energéticas. In: **GASEIFICAÇÃO DE MADEIRA E CARVÃO VEGETAL**, 1. , Belo Horizonte, 1981. **Anais**. Minas Gerais, CETEC. p.9-24.
- RIBEIRO, N.de.F. A questão ambiental Amazônica: caracterização e políticas. In: Aragón, L.E. , org. **A desordem ecológica na Amazônia**. Belém, UFPa, p.91-108, 1991. (Série Cooperação Amazônica n.7).
- RIBOT, J.C. Forestry policy and charcoal production in Senegal. **Energy Policy**, v.21, n.5, p.559-85, 1993.
- ROBERTS, M.C. Assessing the impact of the slack demand for metals. **Resources Policy**, v.14, n.2, p.97-111, 1988.
- ROBERTS, M.C. What caused the slack demand for metals after 1974?. **Resources Policy**, v.14, n.4, p. 231-46, 1988.

- RODRIGUES, M.G. ; ARAÚJO, M.S.de. Possibilidades de penetração de mercado para o gás natural a ser importado pelo Brasil. **Petro & Gás**, n.41, 1992. Xerocopiado.
- ROSILLO-CALLE, F. Brazil a biomass society. In: HALL, D.O. ; OVEREND, R.P. **Biomass: regenerable energy**. Great Britain, John Wiley & Sons, 1987. p.329-48.
- ROSILLO-CALLE, F. ; HALL, D.O. Biomass energy, forests and global warming. **Energy Policy**, v.20, n.2, p.124-36, 1992.
- ROSILLO-CALLE, F. ; FURTADO, P. ; HALL, D.O. Brazil charcoal. **Network News**, v.6, n.4, p.6-7, 1992.
- ROGER, C.D. ; ROBERTSON, K. Long term contracts and market stability - the case of iron ore. **Resources Policy**, v.13, n.1, p.3-18, 1987.
- RUSSOMANO, V.H. **Introdução a administração de energia na indústria**. São Paulo, EDUSP, 1987.
- RYAN, P. ; OPENSHAW, K. Assessment of biomass energy resources; a discussion on its need and methodology. **Industry and Energy Department Working Paper. Energy Series Paper. World Bank**, n.48, 1991.
- Sá, P.de. Structural changes and price formation in the minerals and metal industry. **Resources Policy**, v.14, n.4, p.257-73, 1988.
- SANTANA, R.A. Mais hidrelétricas, menos terra para a agricultura. **São Paulo Energia**, Ano II, n.19, p.24-7, 1985.
- SANTOS, A.dos. As águas da região. In: ALMEIDA JR., J.M.G. **Carajás: desafio político, ecologia e desenvolvimento**. Brasília, CNPq-Editora Brasiliense, 1986. p.156-83.
- SANTOS, B.A.dos. **Amazônia - potencial mineral e perspectivas de desenvolvimento**. São Paulo, TAQ-EDUSP, 1981.
- SANTOS, B.A.dos. Carajás, patrimônio da humanidade. **Brasil Mineral**, Ano V, n.60, p.150-63, 1988.
- SAWYER, D.R. Campesinato e ecologia na Amazônia. In: HOGAN, D.J. ; VIEIRA, P.F. **Dilemas sócioambientais e desenvolvimento sustentável**. Campinas, Editora da Unicamp, 1992. p.211-229.
- SCHETTINO, A.L. Exportação de ferro-gusa à CEE será condicionada à formação de florestas. **Gazeta Mercantil**, São Paulo, 26 out. 1991.

SHEPPARD, W.J. ; LIPINSKY, E.S. ; OVEREND, R.P. Chemicals from biomass. In: HALL, D.O. ; OVEREND, R.P. **Biomass; regenerable energy**. Great Britain, John Wiley & Sons, 1987. p.293-306.

SCHMITT JÚNIOR, A. **Impacto ambiental da mineração de carvão**. Brasil Mineral, n.71, p.62-71, 1989.

SCHUBART, H.O.R. Dinâmica de ecossistemas. In: ALMEIDA JR, J.M.G. **Carajás: desafio político, ecologia e desenvolvimento**. Brasília, CNPq-Editora Brasiliense, 1986. p.30-58.

SECRETARIA DA INDÚSTRIA COMÉRCIO E MINERAÇÃO. **Perfil Mineral do Estado do Pará**. Belém, 1987.

SIQUEIRA, A.B. ; SCHALÉ, L.A. Processos de recuperação de alcatrão em fornos de alvenaria. In: PRODUÇÃO E UTILIZAÇÃO DE CARVÃO VEGETAL/CURSO E EXPOSIÇÃO DE FORNOS DE CARBONIZAÇÃO, 1. , Belo Horizonte, 1982. **Anais**. Minas Gerais, CETEC. p.181-88.

SILVA NETO, A.L. The international effects of mining projects - the case of Carajas iron ore. **Resources Policy**, v.19, n.2, p.124-30, 1993.

SILVEIRA, G.C.V.de.M. Aspectos econômicos da produção de carvão vegetal. In: PRODUÇÃO E UTILIZAÇÃO DE CARVÃO VEGETAL/CURSO E EXPOSIÇÃO DE FORNOS DE CARBONIZAÇÃO, 1. , Belo Horizonte. 1982. **Anais**. Minas Gerais, CETEC. p.113-24.

SLESSER, M. , ed. **Dictionary of energy**. Great Britain, Macmillan Reference Books, 1982. -

SMITH, N.J.H. Fuel forests; a spreading energy resource in developing countries. **Interciencia**, v.6, n.5, p.336-43, 1981.

SMITH, W.H. Environmental factors and biomass energy development. In: HALL, D.O. ; OVEREND, R.P. **Biomass; regenerable energy**. Great Britain, John Wiley & Sons, 1987. p.449-66.

SOARES, M.C.C. **Setor mineral e dívida externa**. Brasília, MCT/CNPq, 1987. (Recursos Minerais: estudos e documentos. n.6).

SOTO, M.A.G. **Avaliação econômica preliminar de projetos carboníferos**. São Paulo, 1994. 100p. Dissertação (Mestrado) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo.

SOUSSAN, J. ; MERCES, D.E. ; o'KEEFE, P. Fuelwood policies for the 1990's. **Energy Policy**, v.20, n.2, p.137-44, 1992.

STRAUSS, S. D. Prospects for the mining industry in the Year 2000. **Resources Policy**, v.19, n.1, p.3-13, 1993.

TAMBASCO, M.J.A. , coord. **Redução de minério de ferro em alto-forno.** Associação Brasileira de Metais, 4.ed. 1977.

TEIXEIRA, P.M.G. ; SILVA JÚNIOR J.L.da. ; SANTOS, J.L.dos. Lenha e gás natural: conflito da escassez com a subutilização. VI CONGRESSO BRASILEIRO DE ENERGIA E I SEMINÁRIO LATINO AMERICANO DE ENERGIA, 3. , Rio de Janeiro, 1993. **Anais.** Rio de Janeiro, CBE. p.1023-27.

TEMPLITZ-SEMBITZKY, W. ; SCHRAMM, E. Woodfuel supply and environmental manangement. **Industry and Energy Departament Working Paper. Energy Series Paper. World Bank**, n.19, 1989

TEMPLITZ-SEMBITZKY, W. ; ZIEROTH, G. The Malawi charcoal project experience and lessons. **Industry and Energy Departament Working Paper. Energy Series Paper. World Bank**, n.20, 1990.

TERRADO, E. ; MENDIS, M. ; FITZGERALD, K. Impact of lower oil prices on renewable energy technologies. **Industry and Energy Departament Working Paper. Energy Series Paper. World Bank**, n.5, 1988.

THIBAU, C.E. Produção sustentada de florestas - conceitos metodológicos. In: **PRODUÇÃO E UTILIZAÇÃO DE CARVÃO VEGETAL/CURSO E EXPOSIÇÃO DE FORNOS DE CARBONIZAÇÃO**, 1. , Belo Horizonte, 1982. **Anais.** Minas Gerais. CETEC. P.9-58.

VALVERDE, O. **Carajás - planejamento da destruição.** São Paulo, EDUSP, 1989.

VEIGA FILHO, A.de. ; VEIGA, J.E. O eucalipto como alternativa de investimento ao agricultor. **Florestar Estatístico**, v.1, n.3, p.17-8, 1994.

VENÂNCIO, D.C.de.L. Ações desenvolvidas pela CVRD no âmbito do PGC. **Pará Desenvolvimento**, n. 28, p.25-31, 1993.

VIDAL, L.B. A questão indígena. In: ALMEIDA JR, J.M.G. **Carajás: desafio político, ecologia e desenvolvimento.** Brasília, CNPq-Editora Brasiliense, 1986. p.222-64.

WISNIEWSKI, A. ; MELO, C.F.M.de. **O babaçu e a crise energética.** Belém, Embrapa-CPATU, 1981. (Série Documentos 2).

WORLD WILDLIFE FUND. **Florestas: o desperdício não compensa.** Londres, 1993.

ZADROZNY, I. Potencial de geração de energia do carvão. **Energia: Fontes Alternativas**, v.1, n.2, p.23-8, 1979.

ZAGATTO, A.J.A.G. Transformação de madeira em carvão vegetal. In: GASEIFICAÇÃO DE MADEIRA E CARVÃO VEGETAL, 1. , Belo Horizonte. 1981. Anais. Minas Gerais. CETEC. p.89-100.

---

## APÊNDICE

---

Do ponto de vista da renovabilidade e da quase ausência de emissões, o uso de carvão vegetal de reflorestamento é recomendável. De fato, haveria o balanço de CO<sub>2</sub>, pois o CO<sub>2</sub> emitido na conversão de lenha para carvão vegetal ou durante a redução de minério de ferro, seria capturado pela floresta plantada.

Todavia, a substituição de carvão mineral por carvão vegetal de reflorestamento implica numa diferença de custos, que pode ser entendida como o custo de não se emitir carbono para a atmosfera.

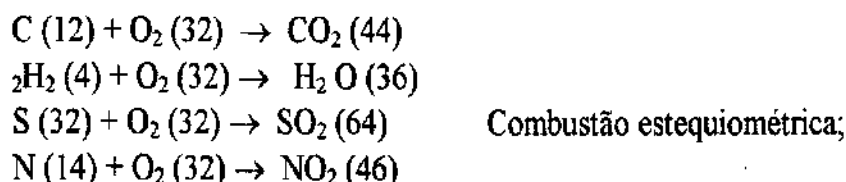
Por meio dos custos de carvão vegetal de reflorestamento determinados no Capítulo VII, item 7.6.3., do preço do carvão mineral (US\$/t 48,40) e da adaptação da metodologia desenvolvida por Mills, Wilson e Johansson (1991), pode-se determinar, segundo as condições apresentadas neste trabalho, o “custo do carbono evitado”, ou seja o custo que o interessado em utilizar carvão vegetal de reflorestamento teria de pagar para não usar carvão mineral e tampouco emitir carbono à atmosfera.

Admitindo-se que:

|                       |                                     |
|-----------------------|-------------------------------------|
| C (79,4%)             |                                     |
| H (5,6%)              |                                     |
| O <sub>2</sub> (9,9%) | carvão mineral (análise elementar); |
| N <sub>2</sub> (1,6%) |                                     |
| S (0,6%)              |                                     |
| cinzas (2,9%)         |                                     |
| total 100 %           |                                     |



Logo a combustão do carvão mineral libera:



Desprezando-se  $\text{H}_2 \text{O}$ ,  $\text{NO}_2$ , e  $\text{SO}_2$ ;

Custo do carvão mineral US\$/t 48,40 e admitindo-se 0,85 t carvão/t gusa:

$$0,850 \times 48,40 = \text{US$/tonelada ferro-gusa } 41,14.$$

Custo do carvão vegetal de reflorestamento US\$/t 76,09 (custo de terra médio, taxa de atualização 10% e ciclo de exploração de 21 anos) e  $3,78 \text{ m}^3$  por tonelada de ferro-gusa ( $0,25 \text{ t/m}^3$ ):

$$3,78 \times 0,25 \times 76,09 = \text{US$/t carvão vegetal } 71,90.$$

A diferença entre carvão mineral e carvão vegetal de reflorestamento US\$ 30, 76;

Como  $\text{CO}_2 (44)$  e  $\text{C (12)}$   $\text{CO}_2:\text{C} = 3,66$  toneladas de  $\text{CO}_2$ ;

Logo,  $0,85 \text{ t carvão mineral} \times 3,66 \text{ t de } \text{CO}_2 = 3,11$  toneladas de  $\text{CO}_2$ ;

Assim, custo do carbono evitado: ( $\Delta$  custos c. mineral e c. nacional : t  $\text{CO}_2$ );

$$\text{US\$ } 30, 76 : \text{ t } \text{CO}_2 \text{ } 3,11 = \text{US$/CO}_2 \text{ } 9,89.$$

Aplicando-se a mesma metodologia para os custos de lenha, ciclos de exploração de vinte e um e de quinze anos, obtem-se os seguintes custos de carbono evitado.

Custo do carbono evitado (US\$/t  $\text{CO}_2$ ) - ciclo de exploração de 21 anos

| Taxas | Custo do carbono evitado (Ct baixo) | Custo do carbono evitado (Ct médio) | Custo do carbono evitado (Ct elevado) |
|-------|-------------------------------------|-------------------------------------|---------------------------------------|
| 10%   | 3.55                                | 9.89                                | 37.98                                 |
| 12%   | 4.34                                | 12.38                               | 39.44                                 |
| 15%   | 5.59                                | 16.48                               | 64.69                                 |

Custo do carbono evitado (US\$/t CO<sub>2</sub>) - ciclo de exploração de 15 anos

| Taxas | Custo do carbono evitado (Ct baixo) | Custo do carbono evitado (Ct médio) | Custo do carbono evitado (Ct elevado) |
|-------|-------------------------------------|-------------------------------------|---------------------------------------|
| 10%   | 1.04                                | 6.84                                | 32.47                                 |
| 12%   | 1.51                                | 8.53                                | 39.92                                 |
| 15%   | 2.29                                | 11.59                               | 52.80                                 |

Todos os custos de carbono evitados estão relacionados aos custos de carvão vegetal de reflorestamento apresentados neste trabalho. A real quantificação desses custos passa por maior aprofundamento da questão metodológica, seja do ponto de vista das emissões evitadas, seja do ponto de vista do custo do carvão vegetal de reflorestamento.

A decisão de pagar ou não o custo de carbono evitado não deve ser legada apenas ao usuário de carvão vegetal ou mineral. Torna-se importante a participação de um sistema de políticas ambientais que vejam na limitação de emissões de carbono algo mais que o ganho ambiental imediato. Seria a institucionalização da renovabilidade.