



Instituto de Eletrotécnica e Energia  
Centro Nacional de Referência em Biomassa



# NOTA TÉCNICA X

## CARVÃO VEGETAL

### Aspectos Técnicos, Sociais, Ambientais e Econômicos

Esta Nota Técnica é baseada nos trabalhos desenvolvidos em 2008, pelos autores mencionados, ao longo da disciplina ENE5726: Biomassa como Fonte de Energia – Conversão e Utilização, ministrada pela Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Suani Teixeira Coelho, no Programa de Pós-Graduação em Energia (PPGE) da Universidade de São Paulo (USP).

**Dezembro de 2008**

---

Centro Nacional de Referência em Biomassa – CENBIO  
Instituto de Eletrotécnica e Energia da Universidade de São Paulo – IEE/USP  
Av. Prof. Luciano Gualberto, 1.289 - Cidade Universitária - São Paulo – SP. CEP: 05508-010  
Tel.: (55\_11) 3091-2649 / 2655 / 2650 / 2654. Fax: (55\_11) 3091-2653  
E-mail: [cenbio@iee.usp.br](mailto:cenbio@iee.usp.br) Homepage: <http://cenbio.iee.usp.br>

## 1. Introdução

Carvão vegetal é o produto sólido obtido por meio da carbonização da madeira, cujas características dependem das técnicas utilizadas para sua obtenção e o uso para o qual se destina. O rendimento do carvão vegetal gira em torno de 25 a 35%, com base na madeira seca. Segundo Brito & Barrichelo (1981), os principais tipos de carvão são:

a) Carvão para uso doméstico: não deve ser muito duro, deve ser facilmente inflamável e deve emitir o mínimo de fumaça. Sua composição química não tem importância fundamental e pode ser obtido a baixas temperaturas (350 a 400 °C);

b) Carvão metalúrgico: utilizado na redução de minérios de ferro em alto-fornos, fundição, etc. A preparação deste carvão necessita de melhores técnicas em que a carbonização deve ser conduzida a elevadas temperaturas (mínimo de 650 °C) com grande tempo de duração. Deve ser denso, pouco friável e ter uma boa resistência, além de apresentar baixa taxa de materiais voláteis e cinzas. O carvão deve ter no mínimo 80% de carbono;

c) Carvão para gasogênio: O carvão não deve ser muito friável, sua densidade aparente não deve ultrapassar 0,3 g/cm<sup>3</sup> e deve ter um teor de carbono de 75%;

d) Carvão ativo: usado para descoloração de produtos alimentares, desinfecção, purificação de solventes, etc. O carvão deve ser leve e ter grande porosidade. Para aumentar o poder absorvente, podem ser realizados pré-tratamentos na madeira utilizada;

e) Carvão para a indústria química: as exigências variam segundo o uso do carvão, mas de modo geral, exige-se evidentemente boa pureza ligada a uma boa reatividade química;

f) Outros usos: carvão para a indústria de cimento (produto pulverizado e com boa inflamabilidade).

Segundo a Sociedade Brasileira de Silvicultura (2006), o Brasil é um dos maiores produtores de carvão vegetal, respondendo por cerca de 1/3 da produção mundial. O setor industrial caracteriza-se como o principal consumidor de carvão vegetal, sendo responsável pelo consumo de 89% das 10,5 milhões de toneladas de carvão vegetal produzidas no ano de 2007 (BEN, 2008).

Para a redução do minério de ferro em uma siderúrgica, é necessária a utilização de uma fonte de carbono, encontrada no carvão mineral ou carvão vegetal. O carvão mineral é

um combustível de origem fóssil e, portanto, altamente poluidor. Desta forma a utilização de um combustível renovável como o carvão vegetal é viável do ponto de vista ambiental. O grande problema é a origem deste carvão vegetal, que deve ser proveniente de florestas plantadas, pois a utilização de mata nativa torna sua produção insustentável.

Como pode ser visto na Tabela 1, a origem do carvão vegetal consumido no Brasil foi 49 % proveniente de origem nativa e 51 % proveniente de florestas plantadas, em 2006.

Tabela 1. Origem do carvão vegetal consumido no Brasil

Ano	Origem Nativa	%	Orig. Flor. Plantadas	%	Total
1990	24.355	66,0	12.547	34,0	36.902
1991	17.876	57,7	13.102	42,3	30.978
1992	17.826	61,1	11.351	38,9	29.177
1993	17.923	56,5	13.77	43,5	31.700
1994	15.180	46,0	17.820	54,0	33.000
1995	14.920	48,0	16.164	52,0	31.084
1996	7.800	30,0	18.200	70,0	26.000
1997	5.800	25,0	17.800	75,0	23.600
1998	8.600	32,6	17.800	67,4	26.400
1999	8.070	30,0	18.380	70,0	26.900
2000	7.500	29,5	17.900	70,5	25.400
2001	9.115	34,8	17.105	65,2	26.220
2002	9.793	36,5	17.027	63,5	26.820
2003	12.216	41,8	16.986	58,2	29.202
2004	19.490	52,2	17.430	47,8	36.920
2005	18.862	49,6	19.188	50,4	38.051
2006	17.189	49,0	17.936	51,0	35.125

Unidade: 1.000 mdc

Fonte: AMS (2007)

Em estudo realizado pela FAO (2007), mostrado na Tabela 2, os países com maiores plantações florestais são a China e Índia. O Brasil encontra-se na 7ª posição, com 5,24 milhões de hectares plantados, correspondente a 0,6 % da área territorial do país.

Tabela 2. Países com mais plantações vegetais

País	Área Territorial (mil ha) (1)	Plantações Florestais (mil ha) (2)	% (2/1)	% em relação ao total de plantações
------	-------------------------------------	--	------------	---

1º China	932.743	45.083	4,8	23,5
2º Índia	297.319	32.578	11,0	17,0
3º Rússia	1.688.851	17.340	1,0	9,0
4º EUA	915.895	16.238	1,8	8,5
5º Japão	37.652	10.682	28,0	5,6
6º Indonésia	181.157	9.871	5,0	5,1
7º Brasil	845.651	5.242	0,6	2,7
8º Tailândia	51.089	4.920	9,6	2,6
9º Ucrânia	57.935	4.425	7,6	2,3
10º Irã	162.201	2.284	1,4	1,2
Outros	7.893.497	43.312	0,6	22,6
<b>Total</b>	<b>13.963.900</b>	<b>186.733</b>	<b>1,4</b>	<b>100</b>

Fonte: FAO (2007)

No estudo realizado pela SBS (2007), este percentual corresponde à 0,7 % do território nacional, compreendendo 5,74 milhões de hectares plantados, com cerca de 61 % de eucaliptos e 31 % de pinus. A distribuição das florestas plantadas no Brasil é mostrada na Figura 1.



Sudeste: 45%  
Sul: 35%  
Nordeste: 13%  
Centro-Oeste: 5%  
Norte: 4%

Figura 2. Florestas plantadas no Brasil  
Fonte: SBS (2007)

A produtividade média ponderada de carvão vegetal de matas nativas no Brasil é de 1 m<sup>3</sup> para um hectare de mata desmatada. Quando se considera o carvão vegetal proveniente de florestas de eucalipto, atinge-se a produtividade anual de 44,8 m<sup>3</sup>/ha e

as florestas de pinus atingem 30 m<sup>3</sup>/ha (SBS, 2007). Além de maior produtividade, as florestas plantadas oferecem benefícios ambientais como conservação da mata nativa, regulação de recursos hídricos, seqüestro de dióxido de carbono, recuperação de áreas degradadas, etc.

Muitas empresas da região sudeste estão substituindo a utilização de madeira proveniente de florestas nativas por aquelas de florestas plantadas, que vêm assumindo crescente importância no conjunto do agronegócio do país. Novos investimentos estão sendo realizados em outras regiões como, por exemplo, no Norte e Nordeste.

Essa mudança decorre de questões como maiores custos para obtenção de madeira de locais distantes, ganhos operacionais obtidos pela utilização de matéria-prima uniforme, além da pressão social contra o corte de florestas nativas. Considerando a média nacional de uso de madeira, se toda a produção de ferro-gusa do país fosse dependente do carvão vegetal, seria necessário derrubar anualmente uma área de aproximadamente 7.463,73 mil hectares, equivalente a 1,7 vezes o estado do Rio de Janeiro (MILANEZ & PORTO, 2008).

Com o intuito de reduzir o uso de florestas na produção do carvão vegetal, o Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento (PNUD) realizou pesquisas para viabilizar a utilização de coco de babaçu. De acordo com a pesquisa, na produção do carvão vegetal, os maiores custos estão associados à coleta, preparo e transporte da matéria-prima. Como o coco de babaçu é disperso e os produtores buscam biomassa de menor custo, desprezando repercussões sociais e ambientais, este acaba não se tornando competitivo.

A possibilidade de obtenção de créditos de carbono por meio do reflorestamento de áreas degradadas tornou-se um incentivo às siderurgias no país e no mundo. A Tabela 3 mostra as metodologias de aflorestamento e reflorestamento já aprovadas pelo IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change).

Tabela 3. Metodologias de Aflorestamento e Reflorestamento aprovadas pelo IPCC

<b>Metodologia</b>	<b>Título</b>	<b>Aprovação</b>	<b>País</b>
AR – AM0001	Reflorestamento de Terra Degradada	Maio de 2006	China
AR – AM0002	Restauração de Terras Degradadas por meio de A/R	Maio de 2006	Moldova

AR – AM0003	A/R de Terras Degradadas por meio de Plantio de Árvores, Regeneração Natural Assistida e Controle de Animais	Outubro de 2006	Albânia
AR – AM0004	A/R de Terras sob Uso Agrícola	Setembro de 2006	Honduras
AR – AM0005	A/R Implementado para Usos Comercial e Industrial	Dezembro de 2006	Brasil
AR – AM0006	A/R com Árvores e Arbustos em Terras Degradadas	Fevereiro de 2007	China
AR – AM0007	A/R de Terra sob Uso Agrícola ou Pastoril	Fevereiro de 2007	Equador

Fonte: IPCC, 2008

## 2. Aspectos Técnicos\*

\* Camila Gregorut e Marcel Miranda Taccini

### 2.1 A produção do carvão vegetal

A ação do calor sobre a madeira, que é um material predominantemente orgânico, implica na sua degradação. Por consequência, há o surgimento de uma pequena fração residual que é denominada “cinzas” e que correspondem aos elementos minerais quantitativamente minoritários originalmente presentes na madeira. Este fenômeno é denominado genericamente de “pirólise” ou “termodegradação” da madeira (BRITO, 1990).

A pirólise da madeira ou de outra biomassa vegetal, em atmosfera controlada e à temperatura conveniente, produz carvão vegetal e matéria volátil parcialmente condensável. Este processo também é chamado de “destilação seca da madeira” pois, mediante a ação do calor, ocorre a eliminação da maior parte dos componentes voláteis da madeira e a concentração de carbono no carvão vegetal produzido. A Figura 2 ilustra este processo. Da condensação da matéria volátil resultam o lícor pirolenhoso e o alcatrão insolúvel. O lícor pirolenhoso é composto de ácido pirolenhoso, que pode ser definido como uma solução aquosa de ácidos acético e fórmico, metanol e alcatrão solúvel, além de outros constituintes menores. Os gases não-condensáveis consistem de compostos gasosos de carbono (CO<sub>2</sub>, CO, C<sub>n</sub>H<sub>m</sub>) e nitrogênio. A análise do carvão e da matéria volátil mostra que sua composição

depende fortemente da temperatura de carbonização, da espécie vegetal que fornece a madeira e da idade da árvore (FERREIRA, 2008).

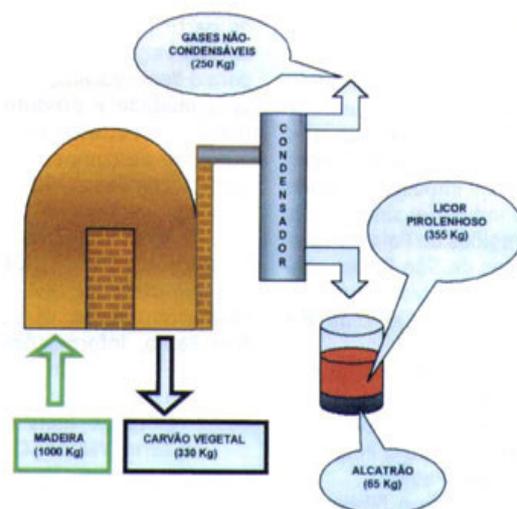


Figura 2. Ilustração da pirólise da madeira

O processo de carbonização pode ser dividido em 4 fases, dependendo da faixa de temperatura alcançada:

- **Até 200°C:** Ocorre a secagem da madeira. O processo é endotérmico, verificando-se a liberação de H<sub>2</sub>O, traços de CO<sub>2</sub>, HCOOH, CH<sub>3</sub>COOH e glicoxal.
- **280°C:** O processo ainda é endotérmico, com a liberação de H<sub>2</sub>O, CO<sub>2</sub>, HCOOH, CH<sub>3</sub>COOH e glicoxal e um pouco de CO. Nesta etapa, destaca-se o início da liberação de produtos com alto poder calorífico.
- **500°C:** O processo é exotérmico e auto-sustentável. Ocorrem reações secundárias com os produtos da pirólise primária. Verifica-se a liberação de CO, CH<sub>4</sub>, HCHO, CH<sub>3</sub>COOH, CH<sub>3</sub>OH, H<sub>2</sub> e alcatrões. Forma-se o resíduo da pirólise: o carvão vegetal.

- **Acima de 500°C:** Processo indesejado, pois a H<sub>2</sub>O e o CO<sub>2</sub> reagem com o carvão, produzindo CO, H<sub>2</sub> e HCHO, e diminuindo, portanto, o rendimento. Ocorrem também reações de pirólise dos gases efluentes da etapa anterior.

A temperatura de carbonização influencia diretamente no rendimento de carvão vegetal produzido e também em sua composição elementar, conforme pode ser visto na Tabela 4.

Tabela 4. Efeito da temperatura de carbonização no rendimento e na composição elementar do carvão vegetal

Temperatura de Carbonização (°C)	C (%)	H (%)	O (%)	Rendimentos (%)
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
<b>500</b>	<b>89,6</b>	<b>3,1</b>	<b>6,7</b>	<b>33,0</b>
<b>600</b>	<b>92,6</b>	<b>2,6</b>	<b>5,2</b>	<b>31,0</b>
800	95,8	1,0	3,3	26,7
1000	96,6	0,5	2,9	26,5

Fonte: LEPAGE et al. (1986)

A maioria dos fornos opera com temperatura de carbonização entre 500 e 600°C, pois nesta faixa de temperatura obtêm-se um carvão vegetal de alta qualidade, ou seja, com alta concentração de carbono e rendimento razoável LEPAGE et al. (1986).

## 2.2 Sistemas de produção de carvão vegetal

Para a produção de carvão vegetal, conforme já foi dito anteriormente, é necessária a aplicação de calor sobre a madeira em quantidade suficientemente controlada para que ocorra apenas a sua degradação parcial. As variações que ocorrem nos processos de

produção ficam por conta do dimensionamento do tamanho e capacidade de produção dos equipamentos, materiais construtivos, níveis de controle do processo e origem do calor necessário para o aquecimento da carga de madeira a ser convertida em carvão.

Os sistemas de produção de carvão vegetal podem ser classificados em dois grupos, que se diferem no que diz respeito à origem do calor para o processo:

- Sistemas com fonte interna de calor ou por combustão parcial: nestes sistemas o calor é fornecido mediante a combustão de parte da carga destinada para a carbonização. Neste caso, cerca de 10 a 20% do peso da carga de madeira é “sacrificada” mediante combustão total, gerando o calor necessário para o processo. A queima é realizada através da admissão controlada de ar no interior do forno. É um processo predominantemente artesanal, sendo mais difundido em países do terceiro mundo.
- Sistemas com fonte externa de calor: nestes sistemas o calor é fornecido a partir de uma fonte externa (aquecimento elétrico, introdução de calor na carga pela queima externa de combustíveis sólidos, líquidos ou gasosos). Neste caso não há a queima de uma parte da carga para a geração de calor necessário ao processo. Toda madeira é teoricamente convertida em carvão vegetal, o que resulta em um maior rendimento do processo.

No Brasil o sistema de produção de carvão vegetal mais comumente utilizado é o de fonte interna de calor, devido ao seu baixo custo de instalação e manutenção, compensando, assim, a baixa produtividade alcançada.

O carvão vegetal brasileiro ainda é hoje produzido, em sua maior proporção, da mesma forma como o era há um século. A tecnologia é primitiva, o controle operacional dos fornos de carbonização é pequeno, e não se pratica o controle qualitativo e quantitativo da produção. Novas tecnologias estão totalmente disponíveis, mas devido à baixa capitalização dos produtores brasileiros e aos riscos de produção associados às tecnologias desconhecidas, a produção de carvão no país ainda é arcaica (BRITO, 1990).

Os fornos para a produção de carvão vegetal podem ser divididos em 4 tipos principais: forno meia-laranja ou “rabo-quente”, forno de encosta ou de barranco, forno colméia ou de superfície e retortas. Os 3 primeiros tipos são originalmente fornos com aquecimento interno por combustão controlada de matéria-prima, entretanto, estes modelos podem ser adaptados para serem utilizados em processos com fonte externa de calor (BARROSO, 2007).

### 2.2.1 Forno meia-laranja ou “rabo-quente”

É construído de tijolos, geralmente sem chaminé e com uma porta. A Figura 3 ilustra este modelo de forno, muito utilizado no Brasil.



Figura 3. Imagem de um forno meia-laranja ou “rabo-quente”

Exemplo de produção em forno meia-laranja (BRITO, 1990):

- Volume médio: 20 m<sup>3</sup>;
- Ciclo total: 10 dias (240 h);
- Relação de volume: 2,5 Mst lenha<sup>1</sup>/ 1MDC<sup>2</sup>;
- Rendimento gravimétrico: 0,16 (base seca).

<sup>1</sup> Mst” refere-se ao chamado metro estéril, onde se mede rusticamente o volume que a lenha ocupa quando está empilhada, contando-se inclusive com os espaços vazios existentes entre as toras.

<sup>2</sup> “MDC” refere-se a metro de carvão vegetal.

### 2.2.2 Forno de encosta ou de barranco

As Figuras 4 a 6 apresentam desenhos desse forno, também construído com tijolos, geralmente com 1 a 3 chaminés e uma porta.

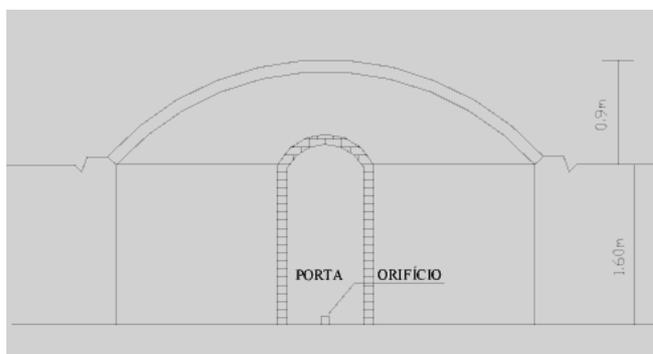


Figura 4. Vista frontal de um forno de encosta.  
Fonte: FERREIRA (2000).

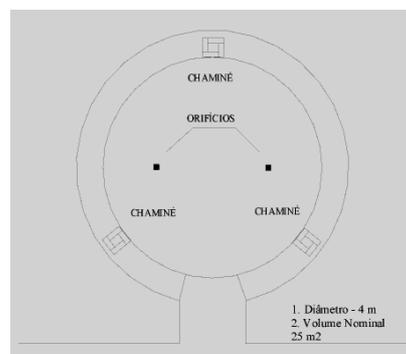


Figura 5. Vista superior de um forno de encosta.  
Fonte: FERREIRA (2000).



Figura 6. Imagem de um forno de encosta.

Exemplo de produção em forno de encosta (BRITO, 1990):

- Volume médio: 20 m<sup>3</sup>;
- Ciclo total: 10 dias (240 h);
- Relação de volume: 2,3 Mst lenha/ 1MDC;

Rendimento gravimétrico: 0,18 (base seca).

### 2.2.3 Forno colméia ou de superfície

As Figuras 7 a 9 apresentam desenhos desse forno também construído com tijolos, geralmente com 1 a 6 chaminés e com 1 ou 2 portas.

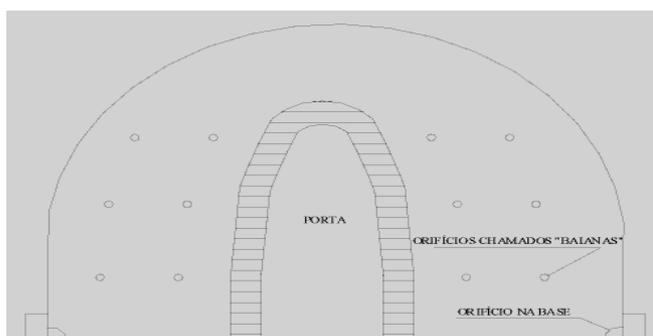


Figura 7. Vista frontal de um forno colméia.  
Fonte: FERREIRA (2000).

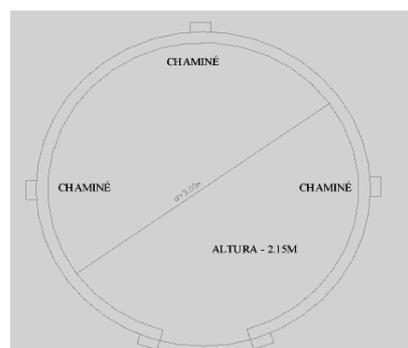


Figura 8. Vista superior de um forno colméia.  
Fonte: FERREIRA (2000).



Figura 9. Imagem de um forno colméia.

Exemplo de produção em forno colméia (BRITO, 1990):

- Volume médio: 36 m<sup>3</sup>;
- Ciclo total: 10 dias (240 h).;
- Relação de volume: 2,25 Mst lenha/ 1MDC;

Rendimento gravimétrico: 0,18 (base seca).

### 2.2.4 Retortas

A retorta é atualmente a tecnologia mais eficiente na produção de carvão vegetal. Em geral são equipamentos que utilizam a combustão externa de gases recuperados do próprio processo para a geração de calor, melhorando assim a eficiência de conversão. Elas são construídas, verticalmente ou horizontalmente, em material metálico, e com dimensões que permitem grandes produções num único equipamento. Além disso, pode-se obter carvão de melhor e mais homogênea qualidade em função das condições mais ideais de controle de processo (BRITO, 1990).

Modernamente, há exemplos de retortas que, individualmente, pode chegar a produzir por ano o equivalente a 350 fornos de alvenaria do tipo colméia, com capacidade para 35 m<sup>3</sup> de madeira (BRITO, 1990). A Figura 10 apresenta um esquema de carbonização em retorta.

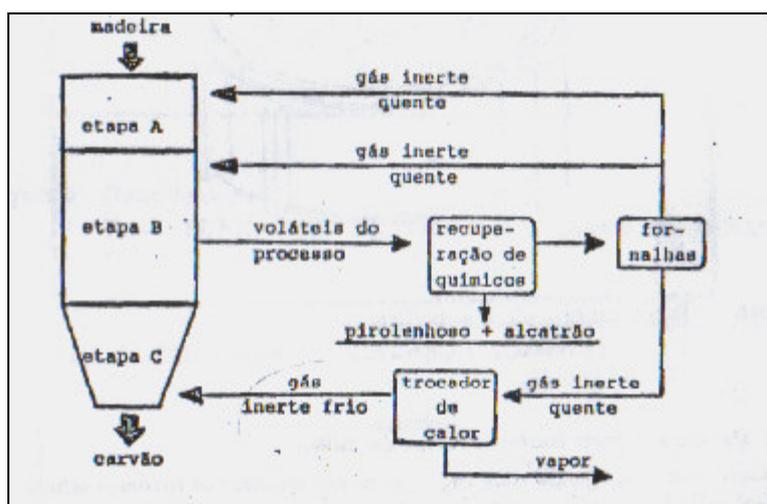
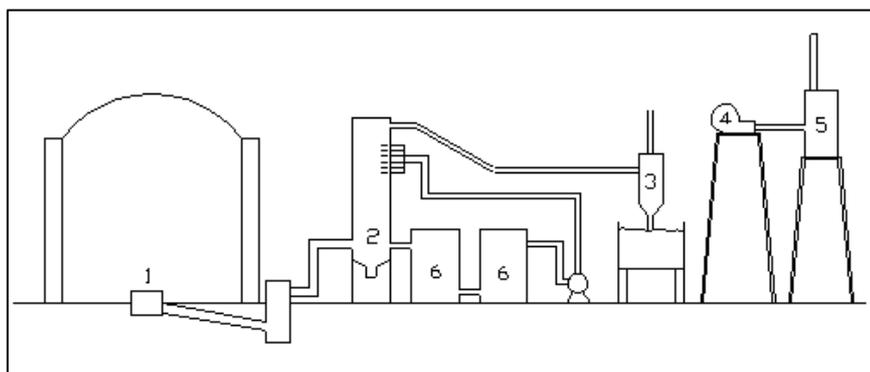


Figura 10. Esquema de carbonização em retorta  
Fonte: BRITO, 1990

Segundo Ferreira (2000), na maioria das retortas, além da recuperação e queima dos gases do próprio processo para a geração de calor, prevê-se também a obtenção de gases inertes, que são utilizados no resfriamento do carvão produzido. Em muitas concepções de retortas, com a recuperação de gases, pode-se prever também a obtenção de produtos químicos contidos nos mesmos. Qualitativamente, a gama de produtos que podem ser obtidos desses gases é bastante grande. Na prática, os compostos químicos são

recuperados na massa de dois produtos líquidos básicos condensáveis: o alcatrão e o licor pirolenhoso. A Figura 11 ilustra um esquema de uma instalação com recuperação de alcatrão.



- 1 - Forno
- 2 - Torre de lavagem
- 3 - Ciclone
- 4 - Soprador
- 5 - Filtro
- 6 - Tambores para a coleta de alcatrão

alcatrão

Figura 11. Esquema de uma instalação com recuperação de  
Fonte: FERREIRA, 2000

Exemplo de produção em retorta (BRITO, 1990):

- Volume: 320 m<sup>3</sup>;
- Ciclo total: 12 dias ;
- Rendimento gravimétrico: 0,27 (base seca).

Industrialmente, há referências de sistemas de retortas onde, para cada 1 tonelada de madeira, são obtidos:

- 380 kg de carvão vegetal;
- 100 kg de alcatrão;
- 65 kg de ácido acético;
- 25 kg de metanol.

### 2.3 Matéria-prima

A matéria-prima abordada para a produção de carvão vegetal são as espécies vegetais do gênero *Eucalyptus*, popularmente conhecidas apenas como Eucalipto, pois estas

possuem alta densidade, alto poder calorífico e menor ciclo de produção quando comparadas às espécies de outros gêneros vegetais como o *Pinus*. Assim, o Eucalipto é capaz de produzir um carvão vegetal de melhor qualidade e garantir um retorno mais rápido do capital investido pelo produtor. A Tabela 5 apresenta algumas características deste importante gênero vegetal.

Tabela 5. Características do Eucalipto

Espécie	Produção/corte (Mst)	Ciclo de corte (anos)	Produtividade média (Mst/ha.ano)	Produtividade máxima observada (Mst/ha.ano)
Eucalipto	280	7	40	60 – 80

Fonte: NOGUEIRA, 2003

### 2.3.1 A correlação entre a densidade da madeira e a densidade do carvão vegetal

Visando avaliar a correlação existente entre a densidade da madeira de eucalipto e a densidade do carvão produzido, um estudo determinou a densidade básica da madeira e a densidade aparente do carvão para diversas espécies de eucalipto. Os resultados estão ilustrados nas Figuras 12 e 13.

Espécie Specie	Idade (anos) Age (years)	D.b. (g/cm <sup>3</sup> )*
<i>E. maculata</i>	5	0,643
<i>E. propinqua</i>	9	0,623
<i>E. urophylla</i> (ex <i>E. alba</i> - Rio Claro)	4	0,594
<i>E. saligna</i>	9	0,569
<i>E. grandis</i>	9	0,564
<i>E. microcorys</i>	5	0,556
<i>E. cloeziana</i>	4	0,508
<i>E. urophylla</i>	4	0,461
<i>E. camaldulensis</i>	4	0,435
<i>E. grandis</i>	4	0,406

Figura 12. Densidade básica de diversas espécies de eucalipto

Fonte: BRITO & BARRICHELO, 1980

Espécie Specie	Idade (anos) Age (years)	D.b. (g/cm <sup>3</sup> )*
<i>E. maculata</i>	5	0,440
<i>E. propinqua</i>	9	0,420
<i>E. urophylla</i> (ex <i>E. alba</i> - Rio Claro)	4	0,360
<i>E. saligna</i>	9	0,346
<i>E. grandis</i>	9	0,360
<i>E. microcorys</i>	5	0,350
<i>E. cloeziana</i>	4	0,290
<i>E. urophylla</i>	4	0,271
<i>E. camaldulensis</i>	4	0,270
<i>E. grandis</i>	4	0,231

Figura 13. Densidade aparente do carvão produzido pelas espécies de eucalipto citadas  
Fonte: BRITO & BARRICHELO, 1980

Em estudo realizado por Brito & Barrichelo (1980), foram plotados estes dados em um gráfico (Figura 14), foi possível verificar que existe uma correlação linear entre a densidade básica da madeira e a densidade aparente do carvão vegetal produzido. Ou seja, a densidade da madeira exerce influência direta sobre a densidade aparente do carvão vegetal produzido.

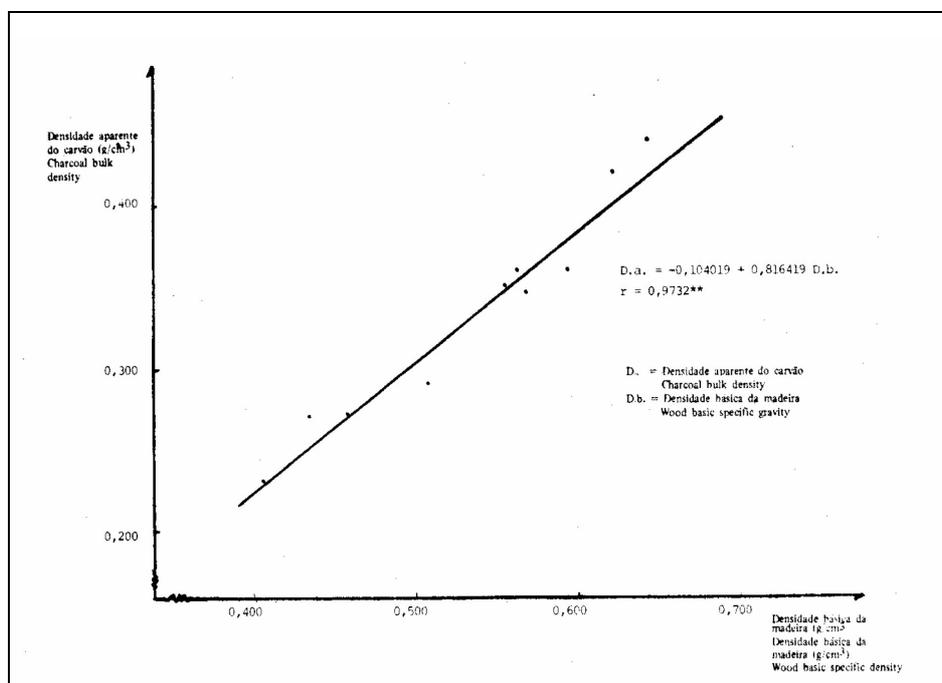


Figura 14. Gráfico correlacionando a densidade básica da madeira (eixo x) versus a densidade aparente do carvão produzido (eixo y). Coeficiente de correlação: r = 0,9732.  
Fonte: BRITO & BARRICHELO (1980).

#### 2.4 Produtos da carbonização e eficiência energética

A carbonização do *Eucalyptus Grandis* (a espécie adotada na maioria dos plantios nos anos 70 e 80) produz (% em massa, base seca) (FERREIRA, 2008):

- Carvão com 86% de carbono fixo (CF): 33,0 %
- Líquido pirolenhoso: 35,5 %
- Alcatrão insolúvel: 6,5 %
- Gases não condensáveis: 25,0 %

O ácido pirolenhoso compõe-se de: ácidos (acético e fórmico), alcatrão solúvel, pequena proporção de metanol (cerca de 1%) e água. A proporção de alcatrão total (solúvel + insolúvel) é de 12%.

Os constituintes principais dos gases não condensáveis (em % de massa) são (CETEC, 1982):

- Hidrogênio: 0,63%
- Metano: 2,43%
- CO: 34,0%
- Etano: 0,13%
- CO<sub>2</sub>: 62,0%

O balanço de energia para o perfil de produção acima, referido a 100 g de madeira úmida é o seguinte (FERREIRA, 2008):

- Entalpia de 80 g de madeira  $80 \text{ g} \times 4.200 \text{ cal/g} = ( 336.000 \text{ cal} )$
- Entalpia de 26,4 g de carvão com 86% CF  $= 26,4 \times 0,86 \times 7.100 = 161.200 \text{ cal}$
- Entalpia de 9,6 g de alcatrão (total)  $= 9,6 \times 6.000 = 57.600 \text{ ''}$
- Entalpia de 20,0 g GNC  $= 20,0 \times 1.490 = 29.730 \text{ ''}$

Total: 248.500 cal.

- Eficiência teórica:  $\eta$  teórica = entalpia dos produtos / entalpia dos insumos

$$\eta \text{ teórica} = 248.500 / 336.000 = 0,74$$

A eficiência real é bastante inferior à teórica, principalmente por não serem recuperados o alcatrão e não serem usados os gases não condensáveis na maioria das instalações.

Para uma avaliação realista da eficiência, pode-se usar o poder calorífico do carvão como comercializado, registrado no Balanço Energético Nacional, e supor, para uma instalação típica, que a produção será de 25 g de carvão por 100 g de madeira pré-secada.

$$\eta = (25 \times 6.800) / 336.000 = 0,51$$

Deve-se lembrar que o poder calorífico obtido do BEN expressa o resultado de experimentos realizados pela Belgo-Mineira, Acesita e INT, e é superior ao que se calcula com base na composição obtida em laboratório (FERREIRA, 2008).

Ainda segundo Ferreira (2008), no estado atual da arte, o alcatrão insolúvel e o ácido pirolenhoso são recuperados na proporção de 140kg / t carvão, ou 4% da massa de madeira carbonizada (MRA). O ácido pirolenhoso é destinado a outros usos industriais. O alcatrão, que pode substituir o óleo combustível, também é destinado a outros usos industriais devido ao baixo preço do óleo combustível. Computando-se apenas o alcatrão recuperável, a eficiência seria:

$$\eta = (25 \times 6.800 + 3,2 \times 6.000) / 336.000 = 0,56$$

### 3. Aspectos Sociais\*

\* Belisa Bordin de Sales e Keina Poliana Pivarro Dalmolin

A produção de carvão vegetal no Brasil está vinculada intimamente com a produção de ferro-gusa; essa situação acontece em poucos lugares no mundo, pois a maioria dos países substituiu o carvão vegetal pelo mineral. Trata-se de uma atividade de grande importância econômica para o país, que direta ou indiretamente, envolve um grande número de trabalhadores (Pimenta et al., 2006).

A utilização de carvão vegetal na siderurgia pode representar um ganho para o meio ambiente se sua produção vier de florestas plantadas e respeitar os direitos trabalhistas dos carvoeiros. Infelizmente, não é essa situação que ocorre em todo o Brasil.

Uma característica da produção de carvão vegetal é sua baixa eficiência, além de diversos tipos de técnicas, variando desde os métodos mais simples e baratos aos mais eficientes (Rosillo-Calle et al, 2005). Apesar de esse produto requerer baixo investimento, permanece disperso, pouco desenvolvido e com poucos incentivos por parte das autoridades e também dos próprios proprietários das carvoarias.

O carvão vegetal apresenta-se como uma possibilidade de fonte de renda para trabalhadores de baixa renda nas zonas rural e urbana, porque essas pessoas podem entrar no mercado de trabalho oferecendo apenas sua mão-de-obra (Pinheiro e Sampaio, 2008). Os aspectos sociais da produção de carvão vegetal são muito distintos no Brasil; em alguns lugares existem sindicatos organizados para assegurar que os direitos trabalhistas dos carvoeiros sejam cumpridos e locais sem a menor infra-estrutura para o trabalho e moradia dos carvoeiros.

Segundo Rosillo-Calle et al (2005), na região do Vale de Jequitinhonha, em Minas Gerais, a produção de carvão vegetal pode ser dividida em dois grupos: o primeiro é representado pelos pequenos produtores, que são geralmente famílias rurais pobres em que a produção de carvão age como um adicional à renda ou apenas como uma atividade de subsistência. As fontes de madeira são as florestas nativas e frequentemente também são usados os resíduos florestais da expansão da agricultura e área de pastagem. A eficiência e os custos de produção não são relevantes. No segundo grupo estão os produtores profissionais de carvão vegetal. Para eles, a principal fonte de madeira são as plantações industriais. São geralmente empregados ou de uma empresa produtora de carvão ou de uma



**Instituto de Eletrotécnica e Energia  
Centro Nacional de Referência em Biomassa**



empreiteira contratada. Eficiência e custos de produção são pontos centrais nas operações realizadas.

A mesma divisão de grupos se apresenta em siderúrgicas na Amazônia. Maurílio de Abreu Monteiro relatou em seu estudo, de 1994, que os pequenos fornecedores de carvão da região – aqueles que produzem até uma tonelada anual – equivaliam a 2/3 do número de fornecedores, mas representavam uma pequena parcela do carvão produzido. Um pequeno número de fornecedores era responsável pela maior parcela de produção de carvão.

Este trabalho abordará distintamente as informações obtidas acerca das condições sociais em quatro estados produtores de carvão vegetal: São Paulo, Minas Gerais, Pará e Maranhão. Desse modo, será exibido um panorama da realidade nas carvoarias brasileiras, referente às condições sociais existentes.

Segundo Monteiro (1994), a característica de mobilidade dos trabalhadores e a falta de outros empregos dificultam a organização dos carvoeiros em sindicatos (2006). Além disso, o carvoejamento reforça atitudes por parte dos empregadores que se caracterizam como trabalho escravo, como a peonagem de dívidas dos trabalhadores.

Através do Centro do Comércio do Estado de São Paulo - CCESP, e o apoio do SEBRAE-SP, Serviço de Apoio às Micro e Pequenas Empresas da Estado de São Paulo, foi instituído o Programa de Qualificação e Certificação da Industrialização do Carvão Vegetal no Estado de São Paulo, que promoveu o cadastramento das empresas e avaliação do perfil carvoeiro, sendo este realizado do período de novembro de 1999 a julho de 2000 no estado de São Paulo, com dados e informações coletadas diretamente no campo (Pró-Carvão, 2000).

Os grandes projetos florestais promovem o aumento na receita municipal, pela arrecadação de impostos, a melhoria na infra-estrutura rural, por meio da construção e manutenção de estradas de rodagem, a melhoria do sistema de comunicação e o favorecimento da dinâmica da economia regional (COUTO et al., 2000).

Atualmente o setor florestal brasileiro oferece 700 mil empregos diretos e dois milhões indiretos (Revista Granja, 1998; COUTO & DUBÉ, 2001). Além disso, o setor florestal contribui com uma receita da U\$ 40,2 bilhões, ou aproximadamente 5% do PIB brasileiro (Gazeta Mercantil, 1997).

### *3.1 Características do Carvoeiro*

O carvoeiro é um indivíduo jovem, mestiço, casados e com poucos filhos. Possui baixo nível de escolaridade, sendo que 20% dos entrevistados eram analfabetos. Tinham origem predominantemente rural e eram católicos (Pimenta et al, 2006).

### *3.2 Condições de Trabalho e Moradia nos Estados Brasileiros*

#### **Pará e Maranhão**

Monteiro (1996) concluiu em seu estudo na região do Carajás, que “a produção de carvão reproduz mecanismos de superexploração da força de trabalho; amplia a pressão sobre a floresta; reforça as tensões sociais no campo e apesar de estar presente no discurso oficial como um dos elementos de uma pretensa racionalidade econômica modernizante é nitidamente conservadora, porquanto não se dissocia do latifúndio”.

Para este autor, é possível classificar os empregos de carvoaria como de péssima qualidade, pois as condições de trabalho, moradia e estabilidade no emprego não têm níveis satisfatórios. “Não contam com garantias previdenciárias e trabalhistas, a remuneração mensal dificilmente ultrapassa o salário mínimo nacional, além do que estão sujeitos a mecanismos coercitivos de imobilização da força de trabalho” (Monteiro, 1994). Constata-se também que apesar da geração de empregos, empregando número significativo de trabalhadores, a quantidade de salários gerados não modifica o perfil de renda da população, ou seja, os baixos valores recebidos não alteram financeiramente a vida dos carvoeiros e suas famílias.

Segundo relatório do Instituto Observatório Social de 2005, existem várias irregularidades, com níveis de gravidade diferentes, nas carvoarias do Maranhão. Assim, as maiores irregularidades nas instalações auditadas foram acerca do alojamento, em que em 9,3% delas não havia cobertura (teto) ou era feita de lona; das instalações sanitárias que eram inexistentes ou apresentaram falta de privacidade em 22% dos locais verificados e, 20%

da água potável à disposição dos trabalhadores não existia ou estava em acondicionamento inadequado.

Das irregularidades graves quanto aos trabalhadores, o relatório mostra que a retenção salarial ou caderneta de dívidas (uma das situações que caracteriza o trabalho escravo) estava presente em 3,2% das carvoarias analisadas. A inadimplência quanto aos encargos sociais e salariais, sobre a produtividade, estava presente em 90% das situações. Verificou-se a presença de crianças e adolescentes nas carvoarias em menos de 1% das instalações. Outras irregularidades foram observadas como a inexistência de exames médicos, recolhimento de FGTS, INSS, 13º salário e férias em uma média de 30% dos casos.

O referido relatório também verificou a porcentagem de trabalhadores com carteira assinada. Na primeira auditoria realizada pelos técnicos do Instituto, foi verificado que em 189 carvoarias que fornecem carvão vegetal para 4 siderúrgicas, cerca de 20% dos carvoeiros trabalhavam sem o registro de suas carteiras.

Tabela 5. Índice de trabalhadores com registro em carteira em Fev/2005, separados por empresas siderúrgicas.

<b>Registro de carteiras</b>	<b>SIMASA PINDARE</b>	<b>VIENA</b>	<b>FERGUMAR</b>	<b>GUSA NORDESTE</b>	<b>MEDIA</b>
Trabalhadores registrados	62,6%	87,3%	83,2%	83,1%	79,8%
Trabalhadores sem registro	37,4%	12,7%	13,8%	16,9%	20,2%

Fone: Instituto Observatório Social  
\*Foram auditadas 189 carvoarias fornecedoras

## **Minas Gerais**

No Estado de Minas Gerais existe uma grande divergência entre as siderúrgicas. Estas na maioria são certificadas segundo normas internacionais e em suas carvoarias fornecedoras, muitas vezes, há utilização intensiva e predatória dos recursos florestais, exploração do trabalho em condições subumanas, incluindo de crianças e adolescentes (Dias et al, 2002), além de utilizar técnicas rudimentares de baixa eficiência.

Nas carvoarias estão presentes crianças de várias idades: quando começam a andar, acompanham as mães e “brincam” de encher o forno, algumas crianças de seis, sete anos, já

conhecem todo o processo da produção de carvão. Já aos 12 anos, meninos e meninas são responsáveis pelas etapas de carvoejamento. As mulheres também fazem parte da produção, geralmente acompanham o marido para ajudar na renda da família, uma vez que o carvoeiro recebe por produtividade. Nas carvoarias volantes (temporárias), os trabalhadores moram ou ficam alojados próximos aos fornos, em instalações improvisadas, cobertas por lonas, dormem em catres e não dispõem de condições mínimas de higiene e saneamento básico (Dias et al, 2002).

O carvoejamento exige muito esforço físico do trabalhador, desde o abastecimento dos fornos até o ensacamento do produto obtido. Durante toda a produção, ocorrem muitos deslocamentos, riscos de acidentes como queimaduras, trabalho noturno para vigilância dos fornos e desconforto térmico (temperaturas muito elevadas e variações de temperatura).

Através das pesquisas realizadas, observou-se que não havia banheiros para higiene pessoal e as condições de moradia eram, sempre, muito precárias, sendo ainda piores nas carvoarias volantes.

Existem vários riscos à saúde que ocorrem em uma carvoaria: exigência de grande esforço físico, exposição ao ruído e vibração pelo uso da moto-serra, à radiação solar excessiva, ao calor emitido pelos fornos, às substâncias químicas produzidas na combustão da madeira e à picada por animais. De todo o processo de produção de carvão vegetal, a etapa mais crítica que é a retirada do produto dos fornos, nessa fase, o trabalhador está mais exposto a altas temperaturas e aos gases da combustão da madeira, sob exigência de esforços físicos importantes (Dias et al., 2002). Além do risco de queimaduras, pois muitas vezes o carvão é retirado ainda quente dos fornos, por causa da necessidade de entrega aos compradores.

Os trabalhadores não têm jornada de trabalho definidas e seus encargos sociais, quando pagos, são feitos de forma irregular devido ao baixo nível de escolaridade dos trabalhadores, seus conhecimentos quanto à produção do carvão foram obtidos empiricamente, através de observações e suas experiências quanto ao aspecto do próprio produto, como aspecto, forma, odor etc (Dias et al, 2002).

Quanto à saúde dos carvoeiros e suas famílias, segundo as pesquisas consultadas, a média de vida dos trabalhadores foi de 54 anos para o sexo masculino e 59 para o sexo

feminino, abaixo dos índices observados no estado de Minas Gerais. Quase metade dos óbitos ocorreu sem assistência médica, refletindo a falta de acesso à saúde e a precariedade de moradia. Doenças cardiovasculares foram as principais causas de morte, em especial a miocardiopatia chagásica, com 12,2% dos óbitos registrados no período. Foi constatado que a desnutrição infantil é mais freqüente nos filhos de carvoeiros (25%) do que em filhos de lavradores (4%) (Dias et al, 2002).

### **São Paulo**

A mão-de-obra recebe uma média salarial de R\$ 292,00 na área de produção e R\$ 331,00 na área distribuidora, sendo que existem diferenças entre o salário masculino e o feminino, onde o homem recebe na produção até sete vezes mais e na área de distribuição cerca de nove vezes mais que a mulher, não havendo recolhimento dos benefícios e membros da família não recebem salários (Pró-Carvão, 2000).

A moradia da mão-de-obra própria é 97% adequada, já no caso de mão-de-obra terceirizada 87% é adequada e no caso de água potável 81% é adequada para mão-de-obra produtora de carvão vegetal, enquanto a distribuidora chega a 95%, a eletricidade para o produtor é 77% adequada e de 93% para a distribuidora. Isso é comprovado pela localidade do setor produtor que é estabelecido na zona rural e o setor distribuidor na zona urbana (Pró-Carvão, 2000).

O trabalho infantil não é feito de forma direta, mas são encontradas crianças nas carvoarias por não terem onde ficar durante o dia. Acompanham os pais no trabalho e, acabam, eventualmente, ajudando no serviço, pois a maioria dos pais recebe por quantidades de carvão produzidas; são encontrados adultos de até 60 anos trabalhando nas atividades.

O nível de escolaridade dos carvoeiros normalmente é primário incompleto; outros apesar de ler e escrever tem grande dificuldade de interpretar palavras e são incapacitados de exercerem outras funções. Quanto às crianças que acompanham os pais no trabalho, a maioria freqüenta a escola regularmente; mas é grande a incidência de adolescentes de 16 e 18 anos, que abandonaram a escola para trabalhar na atividade. As moradias são de baixo padrão e com problemas de acesso e de saneamento básico, principalmente, para os

produtores; geralmente, os envolvidos apenas no empacotamento e distribuição têm melhores condições de trabalho e de moradia. Observou-se que, na cadeia produtiva de carvão, o produtor é o mais, marginalizado, trabalhando e morando em péssimas condições, podendo algumas vezes ser considerado como mão-de-obra semi-escrava (Pró-carvão, 2000).

Tabela 6. Condições de moradia da mão-de-obra.

Aspectos	Produtores	Distribuidores
Nº pessoas que moram no local	730	513
Nº pessoas com moradia própria	446	447
Nº pessoas sem moradia própria	284	66
Nº pessoas com moradia adequada	680	457
Nº pessoas sem moradia adequada	50	5

\*162 empresas produtoras e 125 empresas distribuidoras.

Fonte: Pró-carvão: Diagnóstico sobre a Cadeia Produtiva de Carvão e Lenha do Estado de São Paulo.

O uso de equipamentos de proteção é restrito e encontrado apenas nas cidades, sendo que na maioria dos casos é incompleto, porém, as roupas são adequadas. Em muitas empresas os equipamentos de segurança estão restritos ao uso de luvas; contudo nas pequenas carvoarias não são utilizados nenhum tipo de equipamento de proteção. A jornada de trabalho varia de 6 a 8 horas/dia de acordo com a atividade principal e com a época do ano, ocorrendo maior jornada de trabalho nos meses de novembro e dezembro, quando cresce o mercado para o carvão vegetal, sendo estendida para 10 a 11 horas/dia de trabalho (Pró-carvão, 2000).

Os carvoeiros não possuem capacitação, sendo adquirida experiência através da tradição familiar e com os anos de práticas no trabalho; a maioria das carvoarias é administrada pelos proprietários, e a maioria da mão-de-obra é familiar. Na região de Salesópolis, a mão-de-obra qualificada é comum por ser atividade bastante difundida na região. A produção de carvão vegetal não exige qualificação, tornando-se fonte principal de emprego para muitas regiões pobres, não há mão-de-obra especializada para construções de fornos, nem conhecimento do ponto de queima ideal para a preparação do carvão vegetal (Pró-carvão, 2000).

#### 4. Aspectos Ambientais\*

\* Natalie Jimenez Verdi de Figueiredo e Renato Mariano Barbosa

A lenha e o carvão vegetal são os combustíveis sólidos renováveis mais utilizados, principalmente nos setores industrial e residencial. A região Sudeste caracteriza-se como a maior produtora e consumidora destes combustíveis, levando à exploração da madeira em áreas próximas aos grandes centros urbanos. A retirada contínua de madeira ao longo dos anos resultou na diminuição da mata nativa desta região, acarretando em custos financeiros elevados e prejuízos ambientais.

Alguns impactos ambientais causados pelo desmatamento das florestas são descritos, a seguir:

- Destruição da biodiversidade, resultando na destruição e extinção de diversas espécies;
- Elevação das temperaturas locais e regionais, pois na ausência das florestas que absorviam parte da energia solar, toda energia é devolvida à atmosfera na forma de calor;
- Aumento do processo de erosão e empobrecimento do solo, devido à remoção de sua camada superficial;
- Agravamento dos processos de desertificação devido à diminuição de chuvas, aumento de temperatura e empobrecimento do solo;
- Assoreamento de rios e lagos, devido a sedimentação, podendo ocasionar enchentes e dificuldades de navegação;
- Diminuição dos índices pluviométricos (Estima-se que metade das chuvas caídas sobre as florestas tropicais são resultantes da troca de água da floresta com a atmosfera);
- Proliferação de pragas e doenças devido ao desequilíbrio nas cadeias alimentares; e

- Fim do extrativismo vegetal, por vezes de alto valor econômico.

Além destes, o desmatamento de florestas por meio de queimadas tem colaborado com o aumento da concentração de gás carbônico, um dos gases responsáveis pelo agravamento do efeito estufa, caracterizando um impacto de nível global. O reflorestamento de áreas degradadas é vista como solução para este problema, visto que possui menor tempo de regeneração quando comparado às florestas nativas. Esta atividade vem sendo praticada em diversas áreas da região Sudeste, porém ainda não é capaz de substituir a exploração de matas nativas.

Dentre as vantagens das plantações florestais, destaca-se a possibilidade de remoção de CO<sub>2</sub> da atmosfera (1,8 t CO<sub>2</sub> / t madeira seca), liberação de O<sub>2</sub> para atmosfera (1,3 t O<sub>2</sub> / t madeira seca), além da retenção e aumento do estoque de carbono (20 kg CO<sub>2</sub> / árvore ano). A relação do eucalipto e seqüestro de carbono para o eucalipto é de 10 toneladas por hectare anualmente, enquanto a do pinus é de 7 (SBS, 2006).

#### 4.1 Emissões de Poluentes

Como dito anteriormente, o carvão mineral é um combustível de origem fóssil e sua queima resulta na emissão de diversos poluentes. Essa emissão pode ser reduzida com a substituição deste por um combustível renovável, como o carvão vegetal. Na Figura 15, a seguir, são apresentadas as rotas de produção do carvão mineral e vegetal, além das emissões e remoções de dióxido de carbono. A substituição do carvão mineral pelo carvão vegetal, possibilita um ganho ambiental de 3 toneladas de dióxido de carbono equivalente por tonelada de carvão produzida.

Na produção de uma tonelada de carvão vegetal são emitidas cerca de 233 kg de dióxido de carbono, 81 kg de monóxido de carbono e 6 kg de metano (Figura 16). Além destas, na produção de uma tonelada de gusa, tem-se a emissão de 118 kg de dióxido de carbono, 47 kg de monóxido de carbono e 2,6 kg de metano. Para cada tonelada de gusa produzida é necessário 0,875 tonelada de carvão vegetal (CEMIG, 1988).

### ➤ Rota do Carvão Mineral



### ➤ Rota do Carvão Vegetal



Figura 15. Rota do carvão mineral e vegetal  
Fonte: Moura, 2007

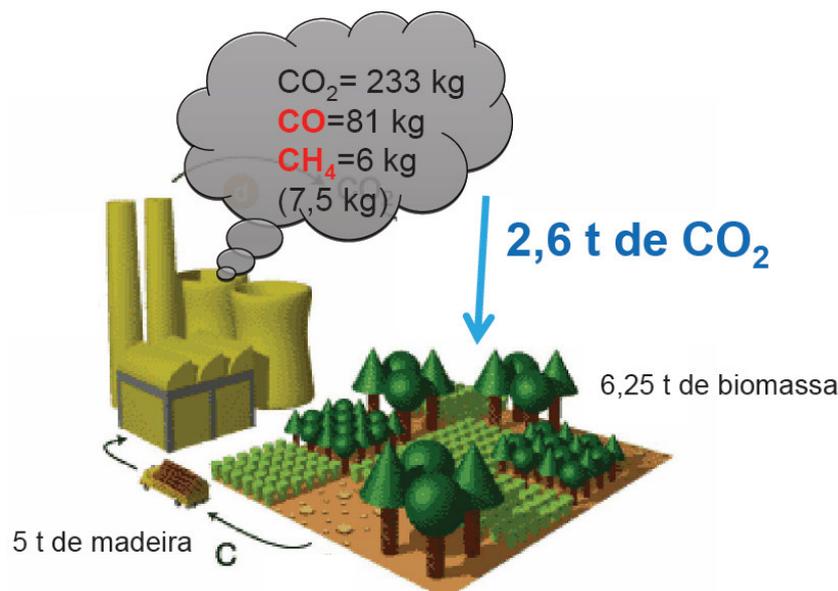


Figura 16. Emissões na produção de uma tonelada de carvão vegetal  
Fonte: Ferreira, 2000

O processo siderúrgico emite diversos poluentes como óxidos de enxofre (SO<sub>x</sub>), gás sulfídrico (H<sub>2</sub>S), óxidos de nitrogênio (NO<sub>x</sub>), monóxido de carbono (CO), dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), metano (CH<sub>4</sub>), etano (C<sub>2</sub>H<sub>6</sub>), material particulado e diferentes hidrocarbonetos

orgânicos, como o benzeno. A emissão de CO<sub>2</sub> anual do Brasil pelo setor siderúrgico é a segunda maior do mundo, perdendo apenas para o México (MILANEZ e PORTO, 2008).

O CO<sub>2</sub> e o CH<sub>4</sub>, gases de efeito estufa, contribuem para o aumento do aquecimento global, enquanto que o SO<sub>x</sub> e o NO<sub>x</sub> reagem com a umidade presente no ar ocasionando a chuva ácida. Esta, por sua vez, causa impactos negativos às plantas, rios e lagos, além de danificar prédios e construções. Todos estes problemas são agravados na presença de hidrocarbonetos policíclicos aromáticos (HPAs), produzidos pela combustão incompleta da matéria orgânica presente no carvão e adsorvidos no material particulado (TERRA FILHO e KITAMURA, 2006).

#### *4.2 Resíduos da Produção de Carvão Vegetal*

Outra questão relevante do ponto de vista ambiental é a utilização e contaminação dos recursos hídricos, além da gestão dos resíduos sólidos gerados pelas siderurgias, que serão abordados a seguir.

##### 4.2.1 Efluentes

As siderurgias geram efluentes que, se lançados aos corpos d'água sem o devido tratamento pode ocasionar a contaminação dos mesmos. Além disto, a necessidade de resfriamento de equipamentos resulta em um elevado consumo de água.

Com o intuito de diminuir o consumo de água, as siderúrgicas estão tentando promover sua recirculação, conseguindo reciclar aproximadamente 90% da água utilizada. De acordo com o Instituto Brasileiro de Siderurgia (IBS, 2006), são necessários cerca de 15 m<sup>3</sup> de água para produção de uma tonelada de aço e, desta forma, estima-se a captação de 453 milhões de m<sup>3</sup> de água no ano de 2006.

Os efluentes gerados pelas indústrias apresentam diversos poluentes como amônia, benzeno, cianetos, fluoretos, óleo, zinco, chumbo, cromo e níquel. Neste contexto, torna-se necessário tratá-los em estações eficientes e encaminhar o lodo resultante do processo para aterros sanitários. No ano de 2006, estima-se que a indústria siderúrgica gerou 1,35 milhões

de toneladas de lamas que incluem, entre outros, o lodo das estações de tratamento (IBS, 2006).

#### 4.2.2 Gestão de Resíduos Sólidos

A problemática da gestão dos resíduos sólidos também merece atenção. Estima-se que sejam produzidas um milhão de toneladas de cinzas com a atual produção de carvão vegetal, além de 340 kg de resíduos sólidos a cada tonelada de ferro-gusa produzida, distribuídos de acordo com a Figura 17. No processo de despoeiração das fumaças liberadas na queima do carvão vegetal são produzidos quase 3 milhões de toneladas de alcatrão (ROSSI, 2008).



Figura 17. Resíduos sólidos gerados na produção de uma tonelada de ferro-gusa  
 Fonte: Rossi (2008)

A Figura 18 ilustra um fluxograma de geração de resíduos sólidos nas siderurgias a carvão vegetal. Diante do exposto, observa-se a relevância da implantação de um sistema de gestão dos resíduos sólidos siderúrgicos.

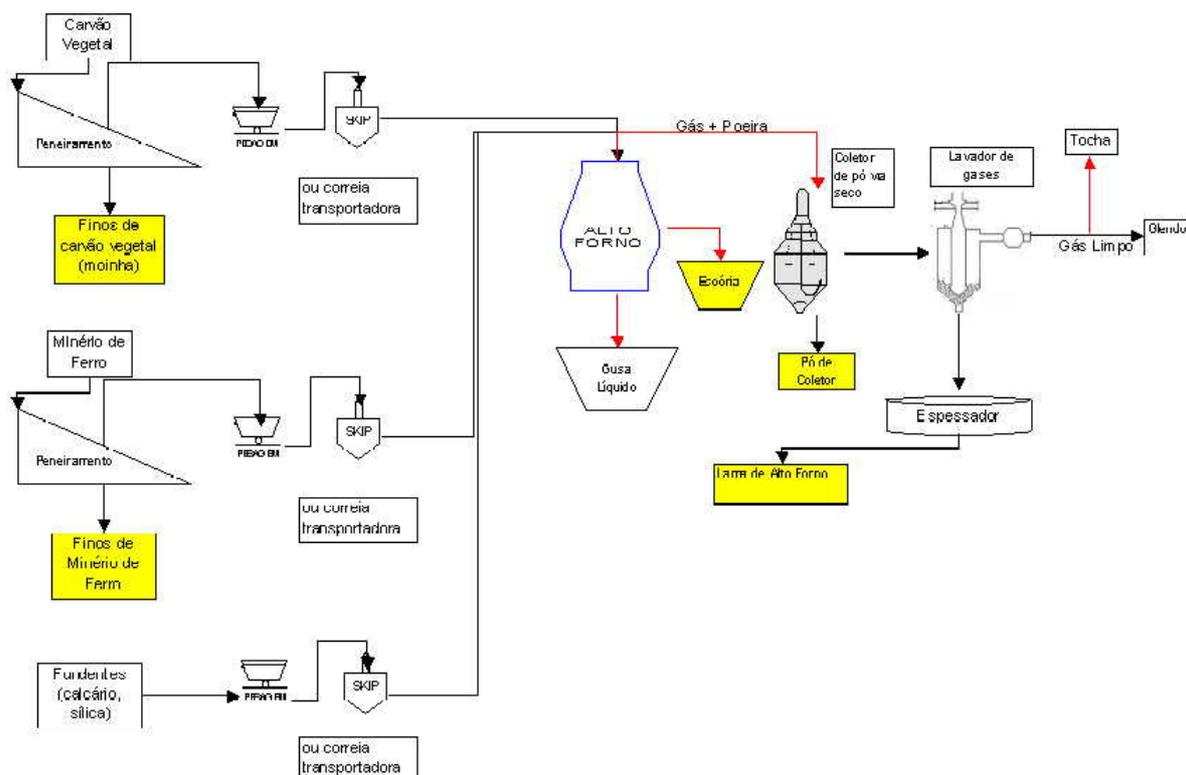


Figura 18. Fluxograma da geração de resíduos sólidos das siderurgias a carvão vegetal  
Fonte: Almeida e Melo, 2001

Segundo a Associação Brasileira de Normas Técnicas, NBR 10004 Resíduos Sólidos – Classificação, a escória é um resíduo que, por apresentar grandes concentrações de alumínio, varia de classe II (resíduo não inerte) à classe III (resíduo inerte). Os finos de minério e a moinha são classe III (inertes), o pó de coletor e a lama de alto-forno são classe I (perigosos) por apresentarem teor de fenóis acima do limite permitido (ALMEIDA E MELO, 2001). Com a possibilidade de utilização dos resíduos em diversos setores como mostrado a seguir, é possível diminuir os problemas de gestão.

- **ESCÓRIA:** construção civil, pavimentação, cimento e agricultura;
- **FINOS DE MINÉRIO:** pavimentação de estradas ou reuso nos fornos;
- **MOINHA DE CARVÃO:** combustível em cimenteiras e siderúrgicas;
- **MP:** resíduos perigosos, e são utilizados na agricultura e setor de cerâmicas;

- **ALCATRÃO:** fertilizantes, indústria alimentícia (defumados), farmacêutica (anti-séptico), etc.

#### 4.3 Redução de impactos ambientais por meio de melhorias tecnológicas

A siderurgia mundial caracteriza-se por poucas inovações tecnológicas radicais. Na Figura 19 é apresentado um fluxograma que representa as possibilidades de melhoria tecnológica, com a finalidade de reduzir os custos e aumentar a produtividade.



Figura 19. Melhorias Tecnológicas  
Fonte: Raad et al (2008)

A Figura 20 ilustra a recuperação dos gases condensáveis com controle de fluxo de saída dos fornos, enquanto a Figura 21 mostra a secagem de madeira utilizando o alcatrão, em substituição ao uso da madeira.

Outra melhoria é realizada com a queima de fumaça por meio de fornalhas, objetivando a redução das emissões de gases e seu posterior aproveitamento térmico, reduzindo cerca de 90 % das emissões de CO e 87 % das emissões de CH<sub>4</sub>. Com o intuito de reduzir o tempo médios de resfriamento dos fornos, é realizada a circulação forçada dos gases e troca de calor. Esta recirculação possibilita a redução de 63 % no tempo médio de resfriamento (RAAD et al, 2008).



Figura 20. Recuperação dos gases condensáveis  
Fonte: Raad et al (2008)



Figura 21. Secagem da madeira com alcatrão  
Fonte: Raad et al (2008)

#### 4.4 Impactos Ambientais e Valoração de Danos

As operações de desmatamento em florestas nativas, bem como o preparo do solo para o plantio de florestas intensificam as erosões hídrica e eólica, acarretando significativas perdas de nutrientes e de parte do solo, contabilizando-se as perdas do volume de água das represas a jusante. A partir dos dados disponíveis para uma área típica de plantio de árvores, pode-se calcular o custo de reposição dos recursos, tendo-se como base os preços de mercado para fertilizantes e adubos utilizados para o manejo dessas áreas.



**Instituto de Eletrotécnica e Energia**  
**Centro Nacional de Referência em Biomassa**



Assim, segundo Barros e Novais (1990), para efeitos de comparação de um hectare de floresta plantada à jusante de uma barragem, supõe-se uma hidrelétrica de potência instalada de 1200 MW, com formação de um lago em uma área inundada de 1.200 km<sup>2</sup>, de profundidade de 10 metros, cujo volume do reservatório é de 12.000.000 m<sup>3</sup>, e um volume crítico de funcionamento de um terço da capacidade inicial, construído ao custo de US\$ 2.400,00 por kW instalado.

Logo, para cada hectare de floresta plantada corresponde uma depreciação na UHE situada a jusante de US\$ 2,88 por ano, o que decore do processo de assoreamento neste caso. Já para o assoreamento devido ao desmatamento de florestas nativas, esse valor não passa de US\$ 0,09 por hectare.

Segundo Stout, 1980, um outro caso a ser mencionado é o da exploração descontrolada e desenfreada das matas nativas, que trazem como externalidades negativas uma piora condições de vida das populações locais, a redução das atividades extrativas locais de alimentos e matérias-primas nativas; uma queda na absorção de mão-de-obra excedente nas redondezas, levando, por sua vez, à continuidade do êxodo rural, aumentando a favelização em centros urbanos.

Desta forma, a título de valoração do dano ambiental da exploração comercial das florestas nativas, comparando-se o potencial extrativista para subsistência de savanas e formações florestais àquele dos cerrados, a capacidade de suporte para o sustento de um homem em bases totalmente extrativistas seria algo em torno de cerca de 150 hectares.

Considerando o processo de extração de frutos e matérias primas diversas da mata como complementar à agricultura de subsistência, pode-se ter que a área de floresta nativa, necessária para complementar o sustento de um homem, é reduzida para 75 hectares (Medeiros, 1993).

Se dissermos que essas pessoas são vistas, agora, como mão-de-obra deslocada e transformada em potencial corrente migratória, tem-se então que cada pessoa ocuparia uma área de 150 ha. Como a área desmatada para carvoejamento é de cerca de 500.000 ha/ano, o deslocamento anual calculado, que tem agora como destino as periferias das grandes cidades, será de cerca de 3.333 mil pessoas ano. Logo, com o custo social de cada pessoa

adulta sendo equivalente a treze salários mínimos anuais, o que é cerca de US\$ 2,430.00, o custo ambiental deste impacto será de US\$ 16.20/hectare

Mas os danos referentes à exploração de matas nativas, em bases não sustentáveis, provoca não só a marginalização de comunidades locais, como também a depleção no capital natural, que pode ser representado pelo recurso natural finito de que dispõe a floresta nativa, o que também pode ser valorado em termos financeiros (Magalhães, 1993). Assim, sendo os custos para a fabricação de carvão vegetal de matas nativas estimados em US\$ 1,00/m<sup>3</sup>, para um custo de produção FOB (na carvoaria) de US\$ 12,03/m<sup>3</sup> de carvão, vê-se que nenhum valor é atribuído ao recurso natural quando do desmatamento, uma vez que se tem a idéia de que a fonte de matéria prima é gratuita e infinita.

Para fins de contabilização desse dano, toma-se como base o custo de US\$ 5,00/m<sup>3</sup> da lenha de eucalipto em pé para carvoejamento. Se adotarmos os coeficientes de rendimento do eucalipto como sendo de 1 m<sup>3</sup> e equivalente a 1,5 m<sup>3</sup> de lenha nativa, o custo ambiental da utilização do recurso natural de matas nativas é de US\$ 3,33 por m<sup>3</sup> de lenha, ou seja, US\$ 10,00 por m<sup>3</sup> de carvão vegetal produzido (AMS, 2008).

Sabe-se também que as florestas plantadas de eucalipto podem reduzir significativamente a produção de água de uma bacia hidrográfica, principalmente em áreas de cobertura vegetal menos densa, como é o caso de cerrados e campos reflorestados com eucalipto de cinco anos de idade, onde podem-se verificar reduções de até 230 mm de água de drenagem devido à produção de biomassa pelas árvores (Lima, 1993).

Nesses casos, para uma precipitação média anual de 1.200 mm, verifica-se uma estimativa média de perda de água na bacia hidrográfica da região de 300 mm ou 3.000 m<sup>3</sup>/ha de água, que é subtraída dos rios e represas a jusante.

Desta forma, simplificada e tomam-se os impactos negativos da geração de energia elétrica como comparativo na estimativa do custo intrínseco a esse impacto ambiental. Portanto, comparando-se à água absorvida pelas árvores àquela turbinada por uma usina hidrelétrica, tem-se que, para uma usina com 60% da água turbinada para geração de energia anualmente, a redução no volume de água à jusante da bacia hidrográfica seria equivalente a 1.800 m<sup>3</sup>/ha.ano daquela de eucalipto.

Esse volume turbinado, caindo de cerca de 60 metros de altura, para uma geração energética com eficiência de 85%, geraria 255 kWh de energia elétrica, e se considermos outras 4 UHEs rio abaixo nessa bacia, geram-se mais de 1 MWh de energia. Essa energia é, portanto, aquela subtraída pela redução na produção de água de 1 ha de bacia hidrográfica em um ano, a um custo marginal de geração de US\$ 60,00/MWh.

## 5. Aspectos Econômicos\*

\* Renata Patrícia Soares Grisoli

Segundo a FAO (2004) o Brasil é considerado o maior produtor de carvão vegetal do mundo, estando bem à frente dos outros países, que são principalmente de origem africana (Figura 22). Observa-se também nesses dados que a produção de carvão mundial de carvão vegetal é muito concentrada, sendo 68% do total produzido provenientes de apenas 11 países.

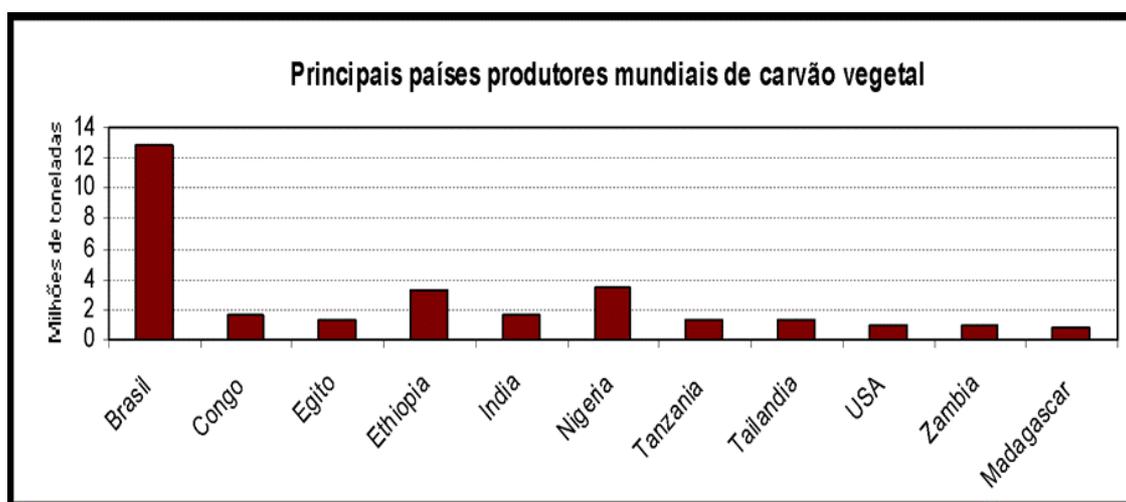


Figura 22. Relação dos principais países produtores de carvão vegetal no mundo

De acordo com dados do Ministério de Minas e Energia (2006) é possível avaliar qual a proporção de lenha que é destinada à produção de carvão vegetal, sendo que atualmente esse número representa um pouco mais de 40% (Figura 23).

Para analisar os aspectos econômicos do carvão vegetal com relação à oferta e demanda no Brasil, foram encontradas algumas dificuldades já elucidadas por Oliveira

(2008), no que diz respeito à padronização de dados para o consumo de carvão vegetal no Brasil.

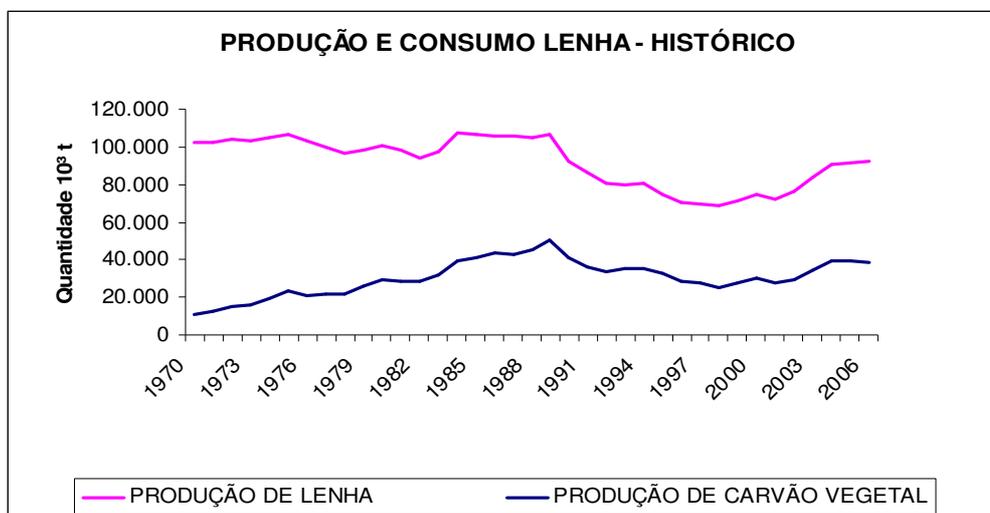


Figura 23. Participação da madeira como fonte energética

Sendo assim na Figura 24 é possível o identificar os dados de consumo de carvão vegetal referentes a quatro fontes distintas, sendo duas internacionais e duas nacionais. As duas primeiras: Organização das Nações Unidas para Agricultura e Alimentos – FAO e Agência Internacional de Energia – IEA; e as duas nacionais: Ministério de Minas e Energia – MME e Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE. Os dados diferem de acordo com a metodologia utilizada para obtenção destas informações (OLIVEIRA, 2008), porém essa disparidade é um fator que deve ser levado em consideração quando se planeja elaborar uma análise econômica profunda do setor.

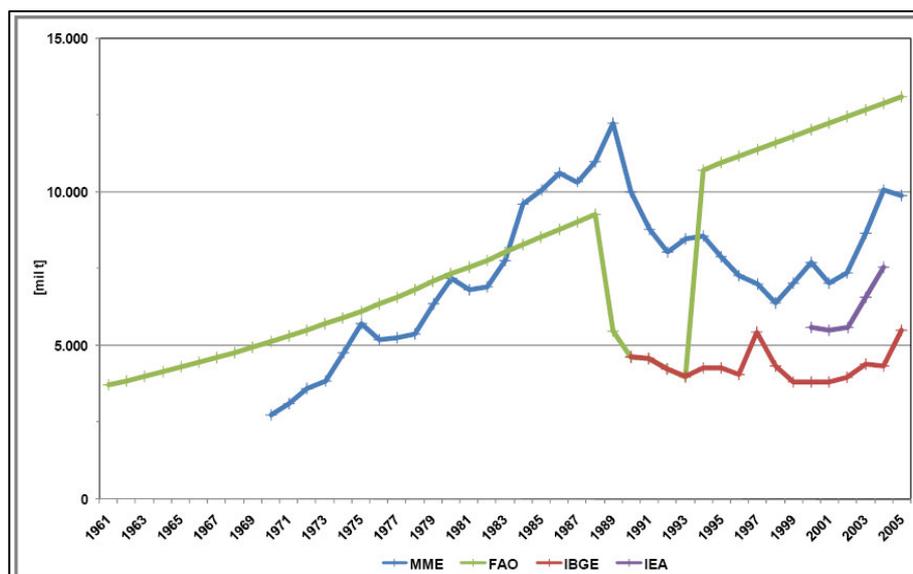


Figura 24. Consumo de carvão vegetal no Brasil

### 5.1 Consumo carvão vegetal por setor no Brasil

No consumo energético da madeira, a produção de carvão vegetal se destaca, em decorrência da demanda existente pelo produto junto ao setor siderúrgico. O Brasil é o maior produtor mundial de aço produzido com o emprego do carvão vegetal para fins de redução do minério de ferro. Trata-se de um setor solidificado e em expansão, gerador de centenas de milhares de postos de trabalho, grande quantidade de impostos e de renda. Devido a uma evolução significativa quanto ao atendimento da demanda por ações visando à sustentabilidade do setor, o uso de carvão vegetal proveniente de madeira de florestas plantadas vem apresentando um franco crescimento. Se em 1990 esse valor era de apenas 30%, atualmente ele já representa mais de 70% do volume consumido (Associação..., 2004).

Como segundo importante consumidor de madeira para energia no Brasil, há o setor residencial. Nesse setor, a madeira é fortemente usada para cocção de alimentos e, em menor escala, para aquecimento domiciliar. Trata-se de um consumo particularmente atrelado à evolução de consumo de gás liquefeito de petróleo, seu substituto natural na maioria das residências brasileiras e para o qual, ao contrário da madeira, políticas oficiais de incentivos sempre se fizeram presentes. Em que pese tal fato, após forte tendência de redução de consumo, nos últimos anos se observa um retorno ao uso da madeira para

energia junto ao segmento domiciliar. O volume anual de madeira usada para tal finalidade situa-se acima do consumo de madeira para serraria em nosso país (BRITO, 2007). Na Figura 6 é possível observar a distribuição do consumo de carvão vegetal no Brasil.

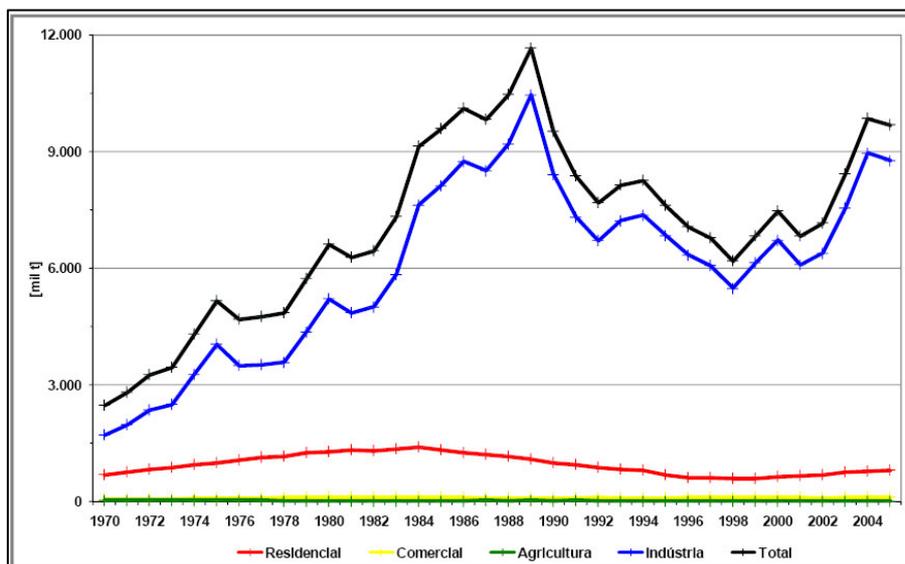


Figura 26. Consumo de carvão vegetal por setor no Brasil

## 5.2 Carvão vegetal e a siderurgia

Conforme já citado, o principal destino do carvão vegetal no Brasil é para o setor industrial, correspondendo a 90% da utilização dessa fonte, e que dentro desse valor, cerca de 84% são destinados a produção de ferro-gusa e aço nas siderúrgicas (MME, 2006).

No Brasil a siderurgia conta também em sua maioria com a utilização de coque mineral para seu processo, o que em 2006 totalizou o uso de 21,3 milhões de toneladas desse recurso, enquanto que a utilização de carvão vegetal foi de 11,2 milhões de toneladas (34,6% do total) correspondente à produção de 32,4 milhões de toneladas de ferro-gusa (IBGE, 2006).

## 5.3 Economia do carvão vegetal

O setor florestal brasileiro em 2005 obteve um faturamento de US\$ 28 bilhões, cerca de 3,5 % PIB brasileiro. O setor siderúrgico a carvão vegetal teve uma significativa parcela, com o faturamento de US\$ 4,2 bilhões no ano, correspondendo a 0,5% do PIB do país, conforme distribuído na Figura 27 (IBGE, 2006).

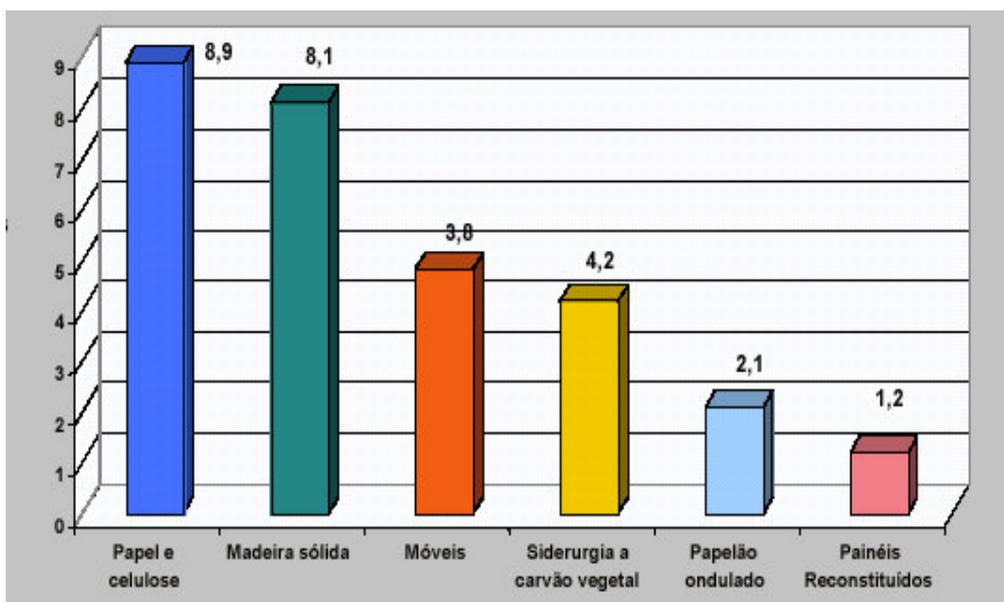


Figura 27. Faturamento da siderurgia a carvão vegetal no Brasil (2005)

Em 2005, somente o comércio de carvão vegetal totalizou 5,5 milhões de toneladas e gerou 1,7 bilhão de reais em venda (IBGE, 2006). O carvão vegetal ainda conta com a característica de ser um dos energéticos mais baratos quando comparado com outras fontes, conforme Figura 28.

Com relação ao preço do carvão vegetal é possível observar um aumento acentuado a partir de 2003, quando houve um aumento de demanda mundial por ferro-gusa e os altos preços levaram ao rápido aumento da produção elevando a participação da floresta nativa para 50% do total produzido (Figura 29) (BRITO 2007).

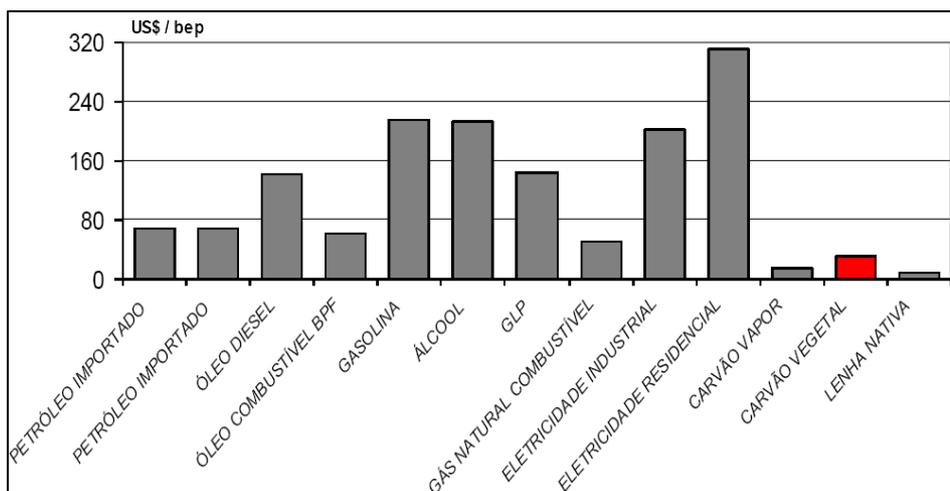


Figura 28. Preços de energéticos no Brasil (2006)

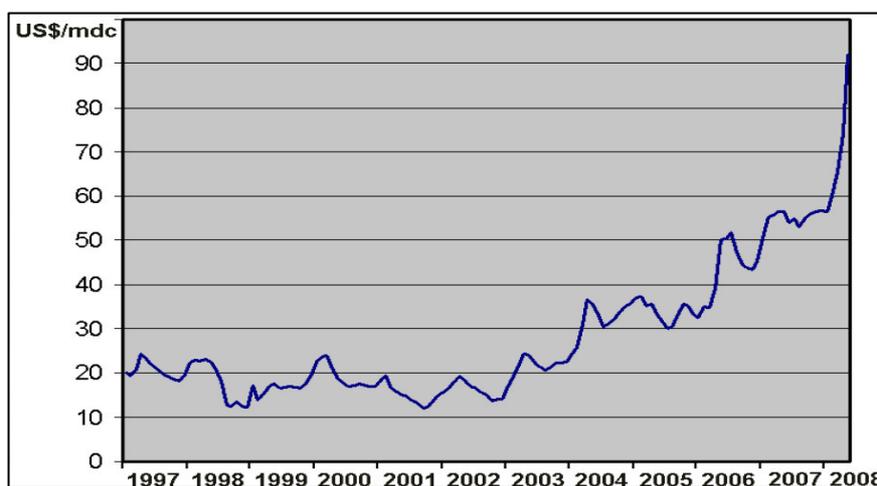


Figura 29. Evolução do preço do carvão vegetal no Brasil

#### 5.4 Viabilidade economia do carvão vegetal

Com relação a viabilidade de produção de carvão vegetal foi realizado um estudo que descreveu os principais custos para a produção de uma tonelada de carvão vegetal em uma unidade. Nesse estudo, é possível verificar que a madeira posta até a unidade de carbonização corresponde a 55% do custo (Figura 30) (PINHEIRO E SAMPAIO, 2008).

<b>1</b>	<b>Despesas silvicultura</b>	<b>R\$</b>	<b>53,68</b>
<b>2</b>	<b>Juros Inv. Floresta (15% aa)</b>	<b>R\$</b>	<b>55,20</b>
<b>3</b>	<b>Exploração</b>	<b>R\$</b>	<b>76,72</b>
<b>4</b>	<b>Carbonização</b>	<b>R\$</b>	<b>32,64</b>
<b>5</b>	<b>Expedição e frete (500 km)</b>	<b>R\$</b>	<b>73,20</b>
<b>6</b>	<b>Impostos</b>	<b>R\$</b>	<b>9,16</b>
<b>7</b>	<b>Outros</b>	<b>R\$</b>	<b>36,64</b>
<b>Soma</b>		<b>R\$</b>	<b>337,24</b>

Figura 30. Custos de Produção de uma tonelada de carvão vegetal

Nessa relação de custo, até a unidade de carbonização, é possível identificar o alto valor de juros para investimentos na floresta, correspondente a aproximadamente 30% investimento até essa etapa. Este fator é devido à natureza do investimento, pois, por exemplo, os R\$ 4.300/ha investidos inicialmente estão 70% concentrados nos 18 meses iniciais e a colheita se dá apenas após sete anos, sendo a razão da alta participação de juros no custo, considerada uma dificuldade significativa para empresas de médio porte (PINHEIRO E SAMPAIO, 2008).

Outro fator a ser considerado diz respeito ao frete, que possui significativa participação também. De acordo com o estudo de Pinheiro e Sampaio (2008), com os preços atuais a viabilidade do transporte do carvão vegetal se dá em um raio de cerca de 2000 km da unidade produtora.

Com relação à carbonização, esta representa 10% do custo e não entra muito nas discussões dos gestores desse setor, uma dificuldade, pois análises técnicas mostram que alterações no processo de carbonização proporcionariam grandes ganhos em eficiência (PINHEIRO E SAMPAIO, 2008).

## 6. Conclusão



**Instituto de Eletrotécnica e Energia  
Centro Nacional de Referência em Biomassa**



O tamanho do mercado nacional e o crescimento da siderurgia brasileira têm cada vez mais destaque com relação a seus vultuosos ganhos econômicos, o que, em muitos dos casos está relacionado a impactos ambientais e sociais, uma vez que a produção de carvão vegetal e seu uso podem gerar degradação e depreciação dos capital humano e do meio ambiente se não tratado de maneira adequada e dentro das normas e leis vigentes no que se refere, inclusive, ao descarte dos resíduos gerados e as emissões de poluentes na atmosfera.

Do ponto de vista social, as condições de trabalho e moradia dos carvoeiros e suas famílias são diferentes nos estados brasileiros, assim como é diferente os níveis de organização dos grupos. Essas condições são abaixo da ideal, havendo ainda exploração dos trabalhadores sem pagamento de todos os encargos sociais garantidos por lei, presença de crianças e adolescentes na carvoaria e conseqüente abandono escolar. Existe também precariedade em suas moradias e as carvoarias não dispõe de instrumentos adequados e é alto o risco de ocorrência de acidentes.

É evidente que a adoção de soluções de mais amplo espectro, junto ao setor de carvão vegetal no Brasil, implica em alterações na sistemática hoje utilizada. São alterações que exigem, em primeiro lugar, a adoção de modernas tecnologias e modernos conceitos agroindustriais, fugindo, da definição que ainda se dá à atividade produtiva, como sendo algo marginal e secundário da atividade rural.

Do ponto de vista ambiental, uma alternativa à exploração de florestas nativas é o plantio de da madeira, que têm importante papel no agronegócio brasileiro, dado que tem-se investido massivamente no setor. Outro ponto de destaque é a obtenção de créditos de carbono com reflorestamento de áreas degradadas, o que se vê com ponto positivo ao setor de siderurgia, mas deve-se atentar que a produção de carvão vegetal, mesmo de florestas plantadas, apresenta impactos negativos, como a emissão de emissão de material particulado, que pode poluir cursos d'água, além de representar alto consumo desse recurso natural em seus dispendiosos processos de resfriamento.

Observa-se, do ponto de vista econômico, que o carvão vegetal possui ampla disseminação no Brasil, e que se fossem considerados alguns fatores relacionados à eficiência do processo, é possível que a sua participação no mercado fosse maior. Porém,



incentivos e ações vem sendo realizadas para aumentar a viabilidade desse recurso, principalmente por seu apelo como uma fonte alternativa, que seja renovável, contrapondo a matriz atual. Assim, é possível que haja um aumento da utilização desse recurso, principalmente se for considerado a matéria-prima sustentável, aqueles relacionados à silvicultura e não a extração de florestas nativas.

Por fim, todos os impactos podem ser valorados economicamente e comparados à geração de energia, à mobilidade e degradação do capital social e humano. Isso não nos mostra a real situação a que se pode chegar, mas nos dá uma idéia do quanto e do que se deve fazer de maneira a evitar que, além do meio ambiente, sofra também o homem, quando da adoção de práticas não sustentáveis por parte de determinadas empresas.

## 7. Referências

AGROPECUÁRIA, MEIO AMBIENTE E DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL. Histórico dos preços e da produção de lenha e de carvão vegetal, no estado do Paraná, entre 1997 e 2007. Sociedade Brasileira de Economia, Administração e Sociologia Rural, 2008

ALMEIDA, M. L. B; MELO, G. C. B. **Alternativas de usos e aplicações dos resíduos sólidos das indústrias independentes de produção de ferro-gusa do estado de Minas Gerais.** 21<sup>o</sup> Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental. Paraíba, 2001.

AMS – Associação Mineira de Silvicultura. **Origem natural do carvão vegetal consumido no Brasil.** Disponível em: <http://www.silviminas.com.br>. Acesso em: outubro de 2008.

ASSOCIAÇÃO MINEIRA DE SILVICULTURA, 2004. Disponível em: <http://www.abracave.com.br/anuario.htm>. Acesso em: 24 nov. 2008.

BARROS, N.F.; NOVAIS, R.F. (orgs.) **Relação solo-eucalipto.** Viçosa, Ed. Folha de Viçosa, 1990.

BARROSO, R. C. **Redução do teor de cinzas dos finos de carvão vegetal por concentração gravítica a seco.** Mestrado em Engenharia Metalúrgica e de Minas. Universidade Federal de Minas Gerais, Escola de Engenharia. Belo Horizonte, 2007.

BEN. **Balanco Energético Nacional 2008** – Base 2007. Brasília, 2008.



**Instituto de Eletrotécnica e Energia**  
**Centro Nacional de Referência em Biomassa**



BRITO, J. O. O uso energético da madeira. **Estudos Avançados**, v. 21, n. 59, p. 1-9, 2007. Disponível em: [http://www.sbs.org.br/destaquesousoenergetico\\_damadeira.pdf?PHPSESSID=0011f88a4f173d6c3bfcde8200fa5f66](http://www.sbs.org.br/destaquesousoenergetico_damadeira.pdf?PHPSESSID=0011f88a4f173d6c3bfcde8200fa5f66). Acesso em: 24 nov. 2008.

BRITO, J. O.; BARRICHELO, L. E. G. **Considerações sobre a produção de carvão vegetal com madeiras da Amazônia**. Série Técnica. Instituto de Pesquisas e Estudos Florestais. Departamento de Silvicultura da ESALQ – USP, v. 2, nº 5, p. 1-25. Piracicaba, 1981.

BRITO, J. O. **Princípios de produção e utilização de carvão vegetal de madeira**. Documentos florestais, v. 9. p. 1-19, mai. 1990.

BRITO, J.O. & BARRICHELO, L.E.G. **Correlações entre características físicas e químicas da madeira e a produção de carvão vegetal: 2. Densidade da madeira x densidade do carvão**. IPEF, Piracicaba (20):101-113, 1980.

CEMIG (1988). **Uso de energia na indústria de ferro-gusa não integrada em Minas Gerais**. Belo Horizonte.

CETEC – Centro Tecnológico da Fundação Paulista. **Produção e Utilização do Carvão Vegetal**. Série Publicações Técnicas 008, 1982.

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

DIAS et al. **Processo de trabalho e saúde dos trabalhadores na produção artesanal de carvão vegetal em Minas Gerais**, Brasil. Cad. Saúde Pública, 2002.

FAO - Food and Agriculture Organization of the United Nations. **GIPB 2007**. Disponível em: <http://www.fao.org/gipb>. Acesso em: outubro de 2008.

\_\_\_\_\_(2006) **Global forest resources assessment 2005**. Rome: FAO, 2006. 320p

\_\_\_\_\_(2004) **Wood Energy**. Promoting Sustainable Energy Systems. Forest Products Division. Rome, October, 2004

FERREIRA, O.C. **Emissão de gases de efeito estufa na produção e consumo do carvão vegetal**. n. 21. 2000. Disponível em: <http://ecen.com/eee21/emiscar2.htm>. Acesso em: outubro de 2008.

FILHO, A. O. S. **Crise ambiental, condições de vida e lutas sociais**. Reforma Agrária, Série Debates, vol. 1, n. 6, abr., Campinas, 1993.

Gazeta Mercantil. 1997. Artigo de Eduardo Martins. 20 de Outubro de 1997. p.A-5.

IBS - Instituto Brasileiro de Siderurgia. **Relatório de sustentabilidade**. Rio de Janeiro, 2006.

IEA – INTERNATIONAL ENERGY AGENCY. Energy balances of non-oecd countries 2003 – 2004. Paris: OECD, 2006. 365p.



**Instituto de Eletrotécnica e Energia**  
**Centro Nacional de Referência em Biomassa**



IBGE Instituto de Brasileiro de Geografia e Estatística, 2005. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br>. Acesso em: 26 nov. 2008

IPCC – Intergovernmental Panel on Climate Change. Disponível em: <http://www.ipcc.ch/>. Acesso em: outubro de 2008.

JANUZZI, G. M. SWISHER, J.N.P. "Planejamento Integrado de Recursos Energéticos Ambiente. Conservação de Energia e Fontes Renováveis". Editora Autores Associados. Campinas - SP. 246 P. 1997.

JUVILLAR, J. B. **Tecnologias da transformação da madeira em carvão vegetal**. CETEC – Fundação Centro Tecnológico de Minas Gerais. In: Uso da madeira para fins energéticos, compilado Waldir Resende Penedo. 1v. 158p. Belo Horizonte: Série Publicações Técnicas 1, 1980.

LEPAGE, Ennio Silva et al. **Manual de preservação de madeiras**. Vol. 1. São Paulo: IPT, 1986. 342 p.

LIMA, W.P. **Impacto ambiental do eucalipto**. São Paulo, Edusp, 1993.

MAGALHÃES, J. L. **Futuro do carvão vegetal no contexto nacional e no exterior** . Anais do I Simpósio Brasileiro de Pesquisa Florestal. Sociedade de Investigações Florestais. Belo Horizonte, 1993.

MEDEIROS, J. X. **Suprimento energético de carvão vegetal no Brasil: Aspectos técnicos, econômicos e ambientais** . Anais do VI Congresso Brasileiro de Energia. Vol. I, pp 107-12. Rio de Janeiro, 1993.

MILANEZ, B.; PORTO, M. F. S. **A ferro e fogo: impactos da siderurgia para o ambiente e a sociedade após a reestruturação dos anos 1990**. Artigo apresentado no VI Encontro Nacional da Anppas. Brasília, junho de 2008.

MME - MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA DO BRASIL. Balanço Energético Nacional, 2007. Disponível em: [https://ben.epe.gov.br/downloads/Resultados\\_Pre\\_BEN\\_2007.pdf](https://ben.epe.gov.br/downloads/Resultados_Pre_BEN_2007.pdf) Acesso em: 26 nov. 2008.

MONTEIRO, M. A. **Siderurgia na Amazônia: aspectos energéticos e sociais**. Capítulo do livro Energia na Amazônia, 1994.

MOURA, G. A. **Grupo Plantar – 40 anos no caminho da sustentabilidade**. Apresentação na 6ª Conferência Latino-Americana sobre Meio Ambiente e Responsabilidade Social. Belo Horizonte. Setembro, 2006.

NOGUEIRA, Luiz Augusto Horta, LORA, Electo Eduardo Silva. **Dendroenergia: fundamentos e aplicações** – 2 ed – RJ: Interciência, 2003.



**Instituto de Eletrotécnica e Energia**  
**Centro Nacional de Referência em Biomassa**



OLIVEIRA, A. U. Lenha e carvão vegetal no Brasil: balanço oferta-demanda e métodos para a estimação do consumo. Tese de doutorado apresentada no Programa Interunidades de Pós-Graduação em Energia da Universidade de São Paulo, 2008.

PIMENTA et al. **Avaliação do perfil de trabalhadores e de condições ergonômicas na atividade de produção de carvão vegetal em bateria de fornos de superfície do tipo “rabo-quente”**. Revista *Árvore*, 2000.

PINHEIRO P. C. C.; SAMPAIO, R. Carvão vegetal: Aspectos Sociais e Econômicos. 1º **SEMINÁRIO MADEIRA ENERGÉTICA** - INEE, 2008. Disponível em: [http://www.inee.org.br/down\\_loads/biomassa/MADEN2008PauloPinheiro.pdf](http://www.inee.org.br/down_loads/biomassa/MADEN2008PauloPinheiro.pdf). Acesso em: 25 nov. 2008.

Pró-Carvão: Diagnóstico sobre a Cadeia Produtiva de Carvão Vegetal e Lenha do Estado de São Paulo, *Ciência Florestal*, Santa Maria, v. 15, n. 1, p. 105-118 – Setembro de 2000. Acesso em 30/10/2008.

RAAD, T. J.; COSTA, L. C.; WINTER, M. **Pesquisa e desenvolvimento na produção de carvão vegetal**. Apresentação realizada no I Fórum Nacional sobre Carvão Vegetal. Outubro de 2008.

Responsabilidade social das empresas siderúrgicas na cadeia produtiva do ferro-gusa na região de Carajás: os produtores de carvão vegetal - relatório geral. Instituto observatório social, rio de janeiro, 2006.

Revista Granja. 1998. Artigo de Erich Gomes Schaitz. no 13. **Silvicultura**. P 50-53.

ROSILLO-CALLE, Frank; BEZZON, Guilherme. Produção e uso industriais do carvão vegetal. In: ROSILLO-CALLE, Frank; BAJAY, Sérgio V.; ROTHMAN, Harry. **Uso da biomassa para produção de energia na indústria brasileira**. Campinas, SP: Editora da Unicamp, 2005.

ROSSI, T. **Carvão Vegetal – Vantagens e Impactos Ambientais**. Apresentação da disciplina de química ambiental. Mestrado em Recursos Florestais. Universidade de São Paulo, Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz. Piracicaba, 2008.

SAMPAIO, R.; PINHEIRO, P. C. **Carvão vegetal: Aspectos Sociais e Econômicos**. 1º Seminário Madeira Energética INEE 2-3 Setembro 2008.

SBS – Sociedade Brasileira de Silvicultura. **Fatos e Números do Brasil Florestal 2005** – SBS, 2006. Disponível em [www.sbs.org.br](http://www.sbs.org.br). Acesso em 07.01.2007.

STOUT, B. A. **Energía para la agricultura mundial**. Roma, Colección FAO: Agricultura, 1980.

TERRA FILHO, M. e KITAMURA, S. **Câncer pleuropulmonar ocupacional**. *Jornal Brasileiro de Pneumologia*, v.32, n.Suppl.2, p.S60-S68. 2006.

THE CHARCOAL DILEMMA – **Finding a sustainable solution for Brazilian Industry** F. Rosillo-Calle, M.A.A de Rezende, P.Furtado and D.O. Hall. Intermediate Technology Publications 1996.



**Instituto de Eletrotécnica e Energia  
Centro Nacional de Referência em Biomassa**

