

Introdução

▶ Definição

- O carvão vegetal é um subproduto florestal resultante da pirólise da madeira, também conhecida como carbonização ou destilação seca da madeira. É um método destrutivo.
- No processo de carbonização, a madeira é aquecida em ambiente fechado, na ausência ou na presença de quantidades controladas de oxigênio, a temperaturas acima de 300 °C, desprendendo vapor d'água, líquidos orgânicos e gases não condensáveis, ficando como resíduo o carvão.



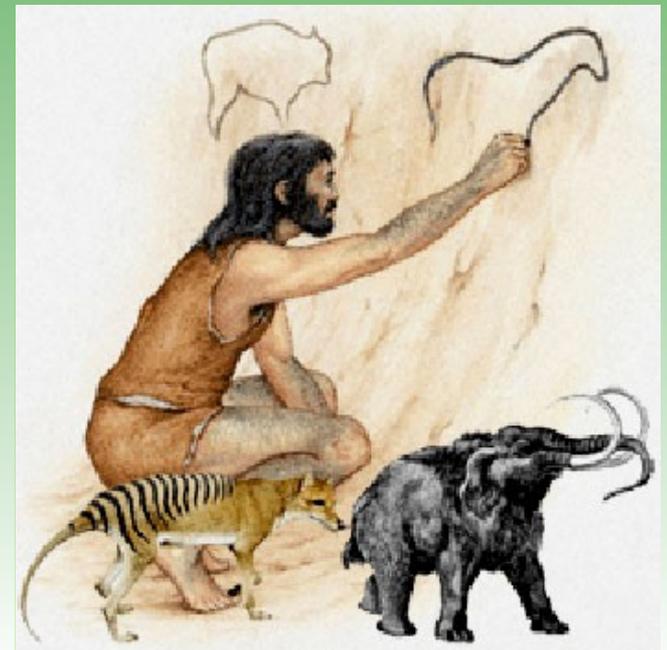
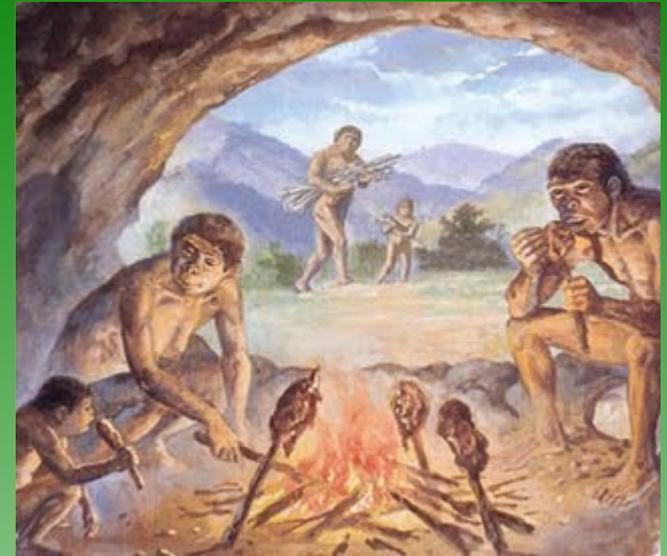
Tecnologia de Produção de Biomassa Energética

Capítulo 3 – Carvão Vegetal

Introdução

► Breve Histórico

- Uso praticamente coincidindo com o crescimento da humanidade.
- Como redutor siderúrgico há registros desde o ano de 792 a.C., na China.
- Até por volta do Século XVIII foi único redutor disponível para a produção de ferro-gusa.
- Com o aumento da demanda de aço surgiu o carvão mineral na siderurgia.



Tipos de Carvão Vegetal

- ▶ 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).



Tipos de Carvão Vegetal

▶ 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.



Tipos de Carvão Vegetal

- ▶ Carvão para gasogênio
 - O carvão não deve ser muito friável, sua densidade aparente não deve ultrapassar $0,3 \text{ g/cm}^3$ e deve ter um teor de carbono de 75%;
- ▶ Carvão ativo
 - Usado para descoloração de produtos alimentares, desinfecção, purificação de solventes ou como fitoterápico, etc
 - O carvão deve ser leve e ter grande porosidade.
 - Para aumentar o poder absorvente, podem ser realizados pré-tratamentos na madeira utilizada;

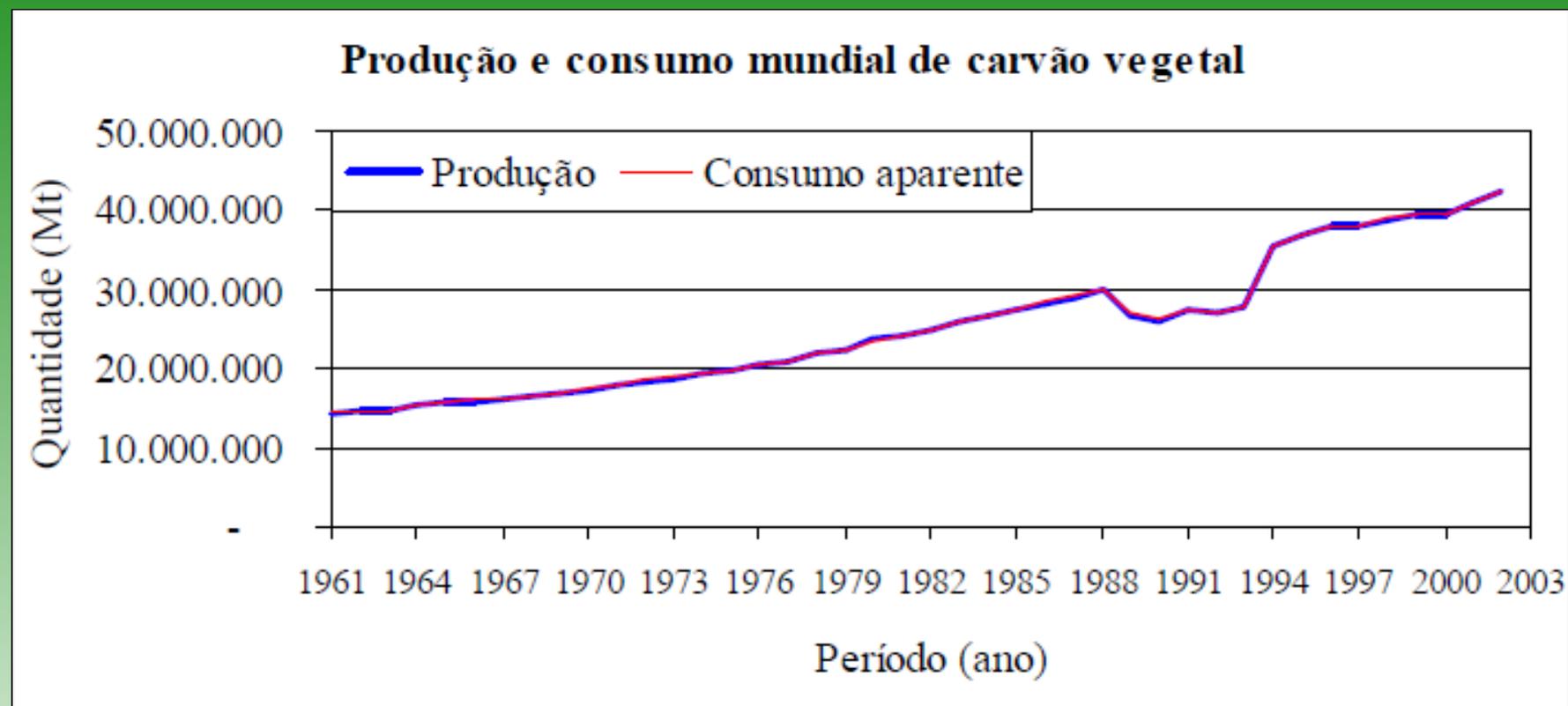


Tipos de Carvão Vegetal

- ▶ 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;
- ▶ Outros usos
 - Carvão para a indústria de cimento (produto pulverizado e com boa inflamabilidade).

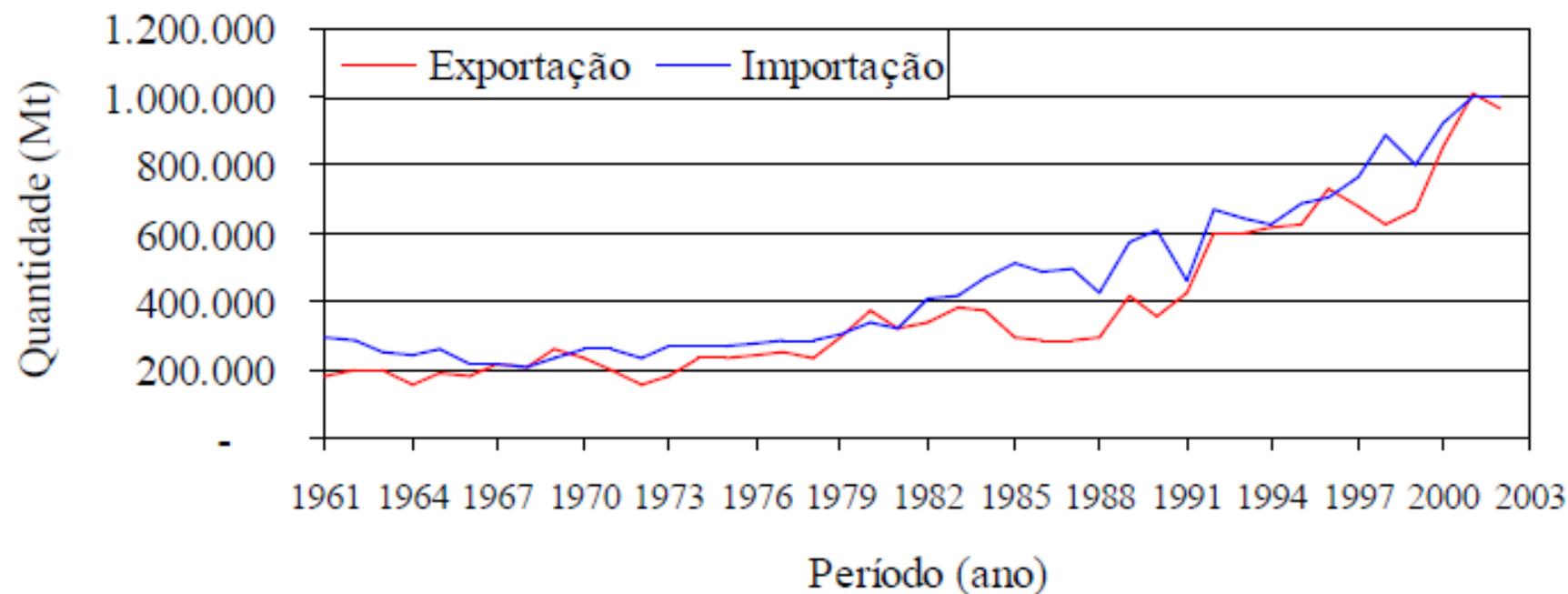


Produção Mundial



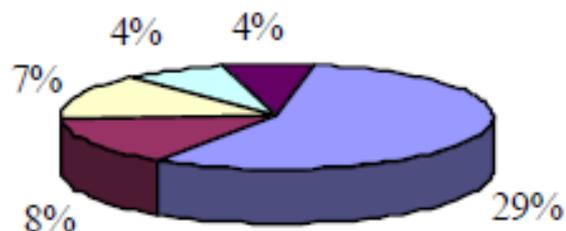
Produção Mundial

Comércio mundial de carvão vegetal



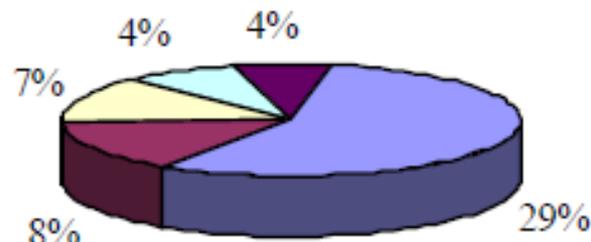
Produção Mundial

Maiores produtores



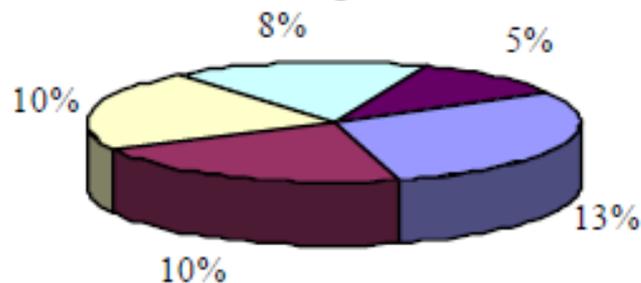
■ Brasil ■ Nigéria ■ Etiópia ■ Índia ■ Congo

Maiores consumidores



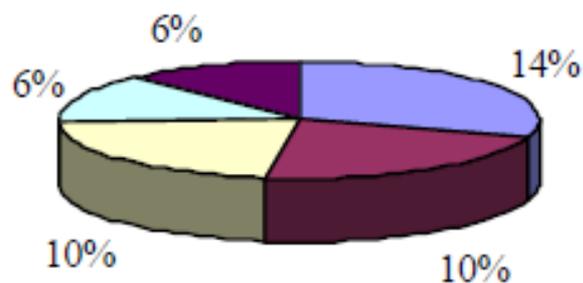
■ Brasil ■ Nigéria ■ Etiópia ■ Índia ■ Congo

Maiores importadores



■ Japão ■ Coréia ■ Alemanha
■ China ■ Arábia Saudita

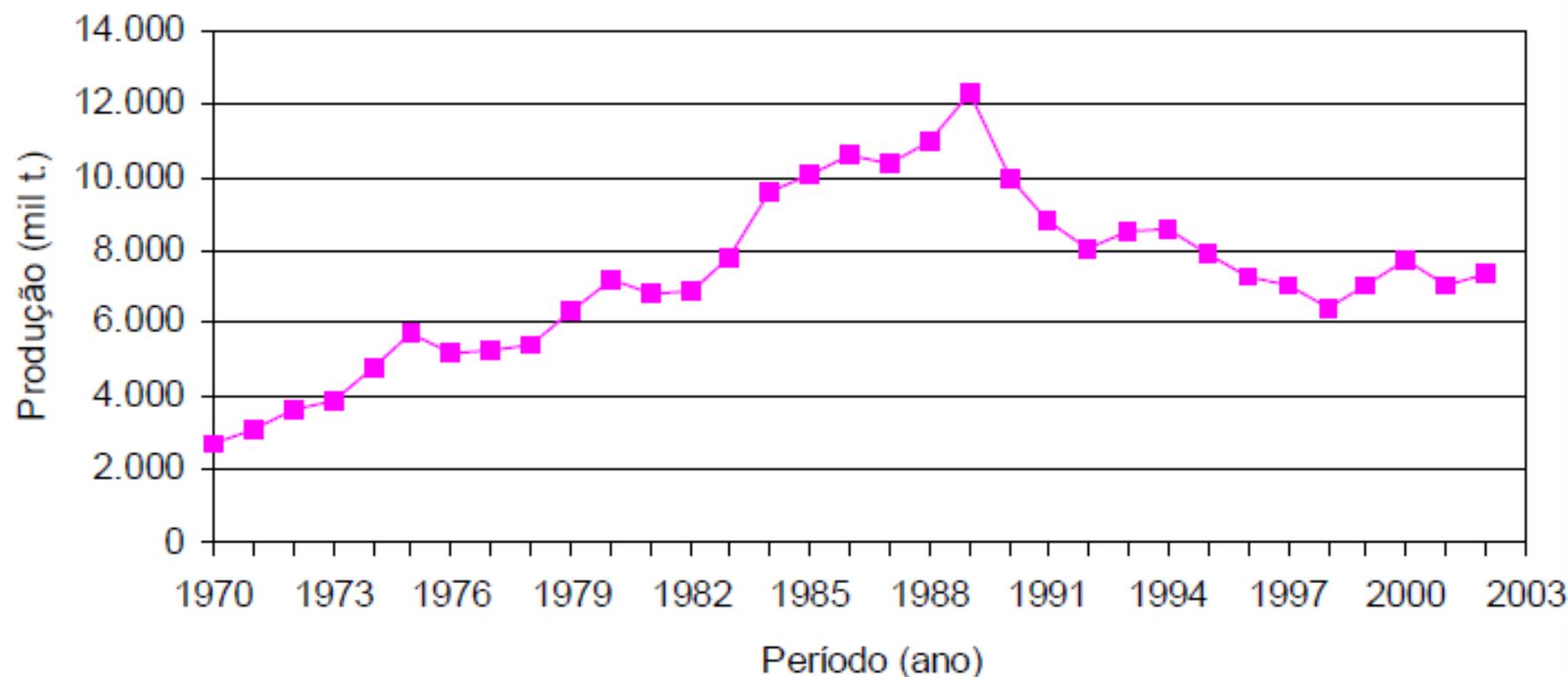
Maiores exportadores



■ Indonésia ■ China ■ África do Sul
■ Malásia ■ Argentina

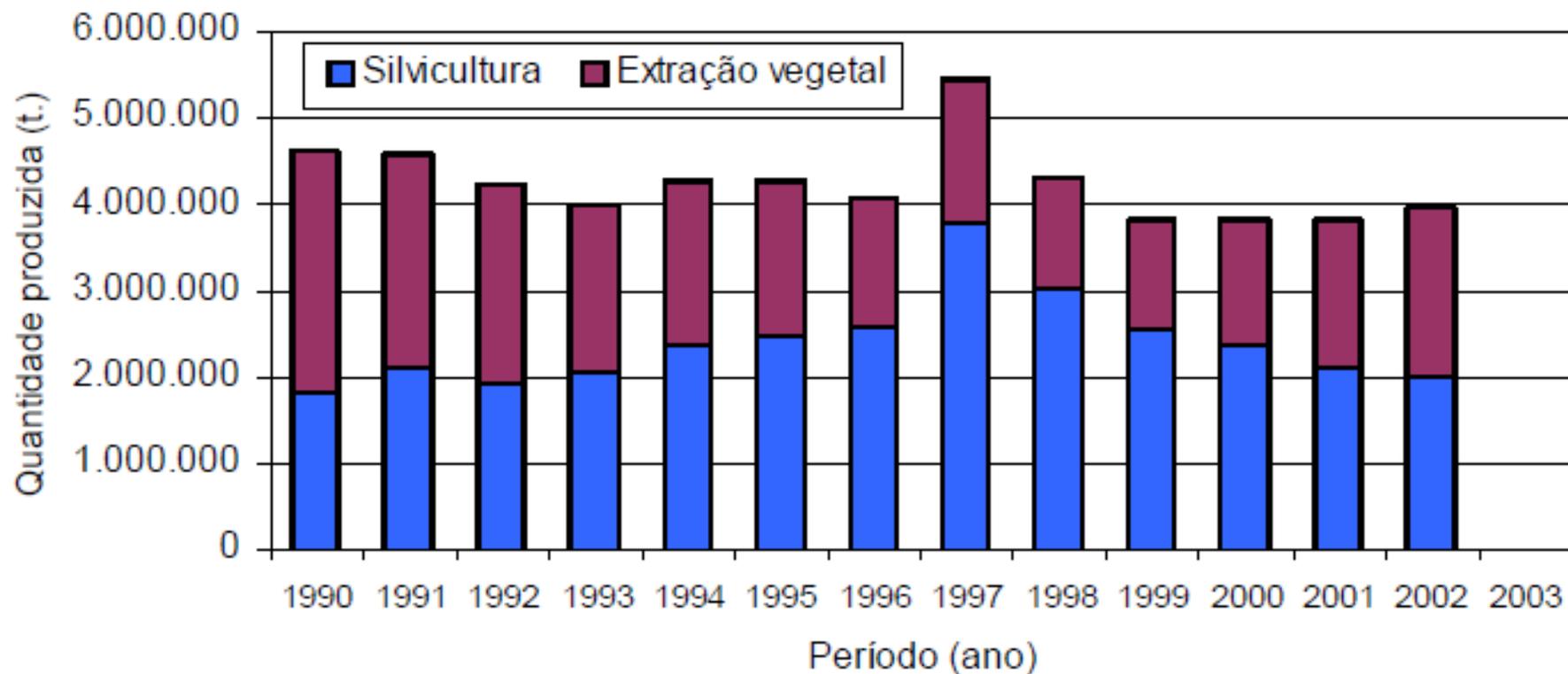
Produção Nacional

Produção nacional de carvão vegetal



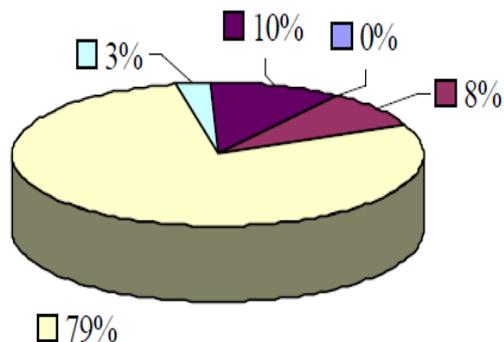
Produção Nacional

Quantidade produzida de carvão vegetal



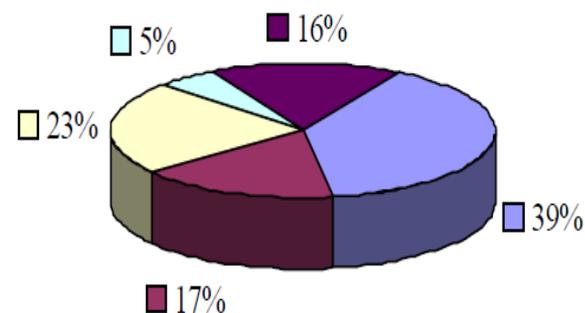
Produção Nacional

Produção de carvão na silvicultura



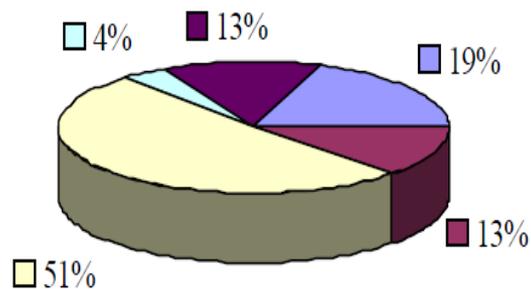
■ Norte ■ Nordeste ■ Sudeste ■ Sul ■ Centro-oeste

Produção de carvão na extração vegetal



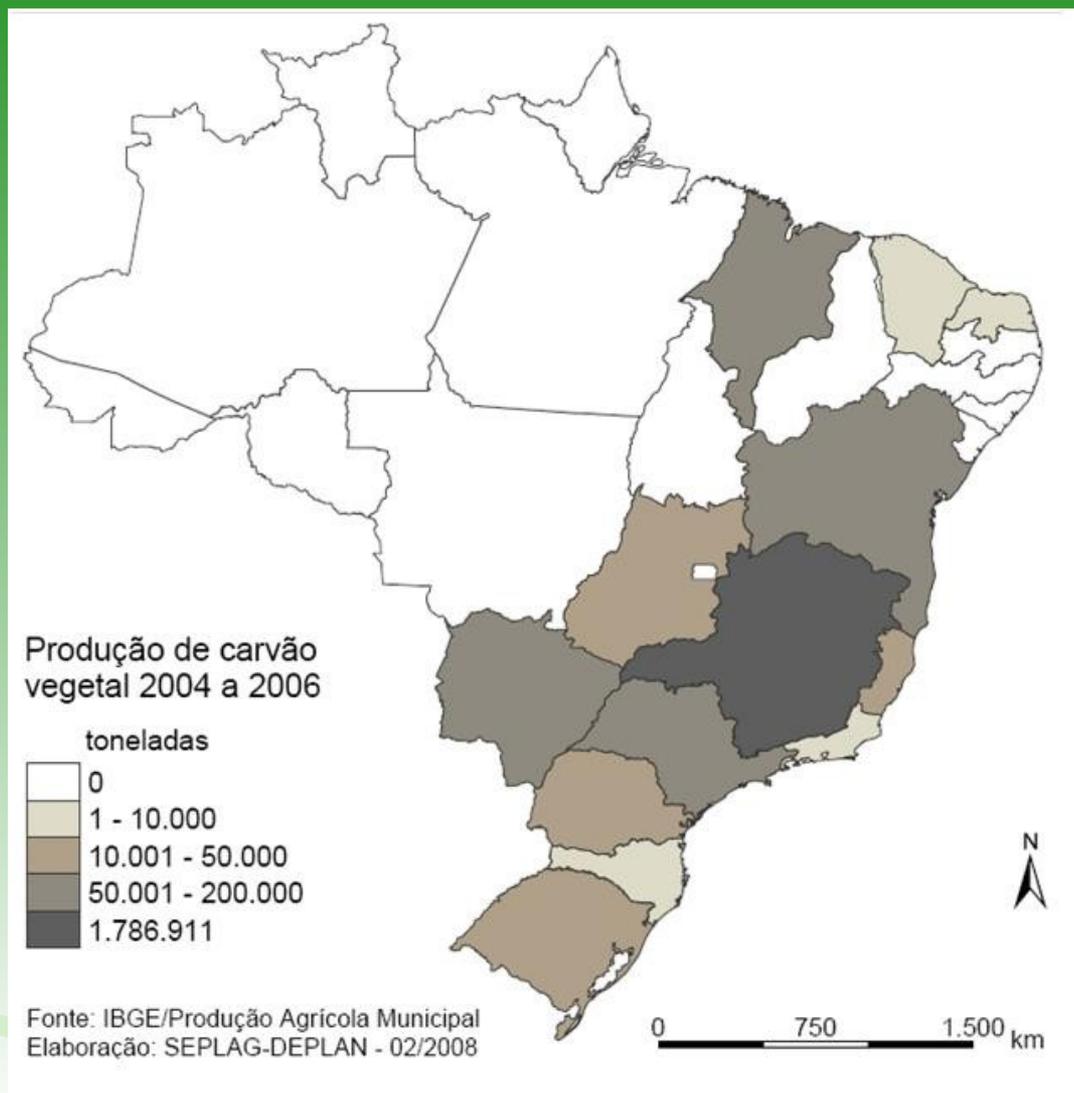
■ Norte ■ Nordeste ■ Sudeste ■ Sul ■ Centro-oeste

Produção total de carvão vegetal

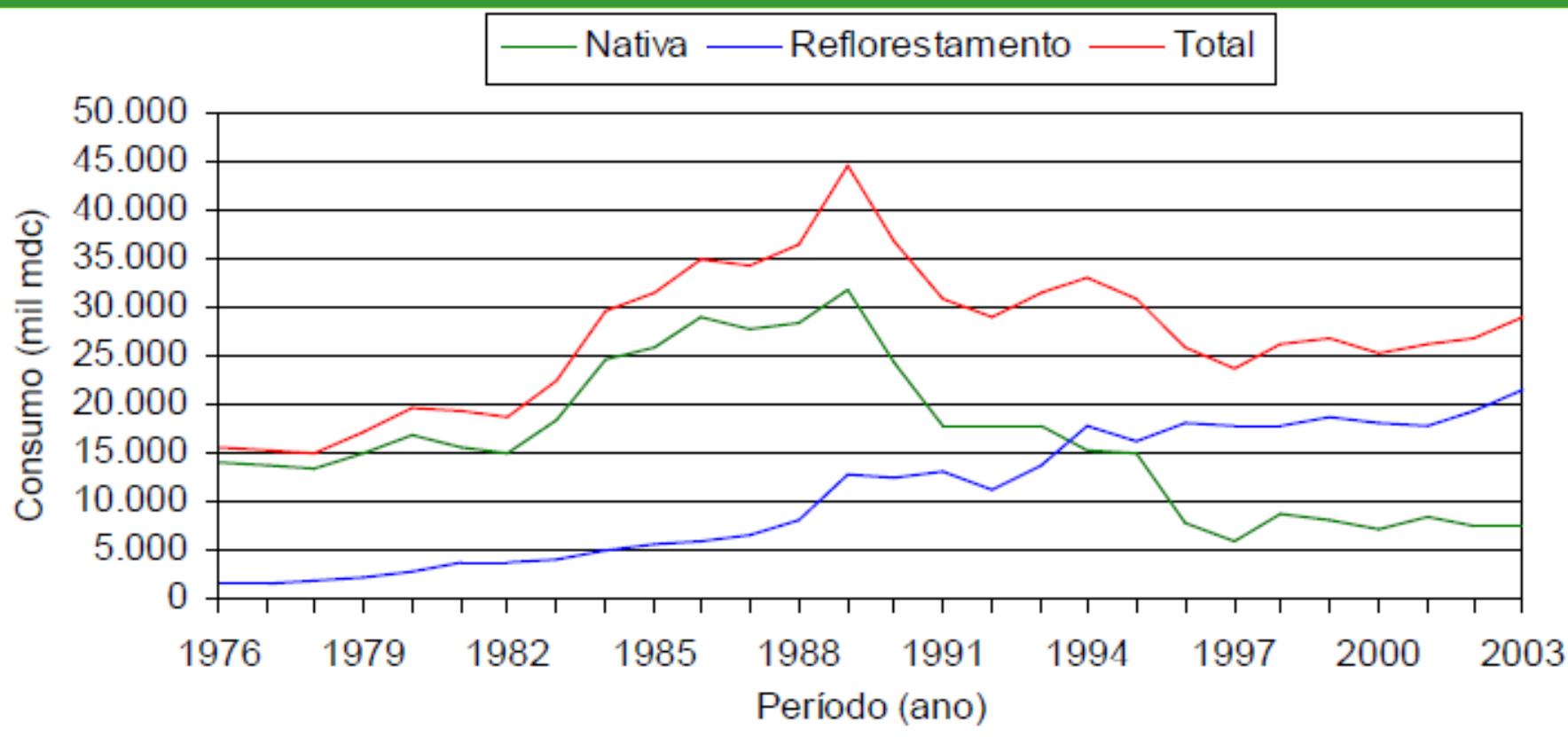


■ Norte ■ Nordeste ■ Sudeste ■ Sul ■ Centro-oeste

Produção Nacional

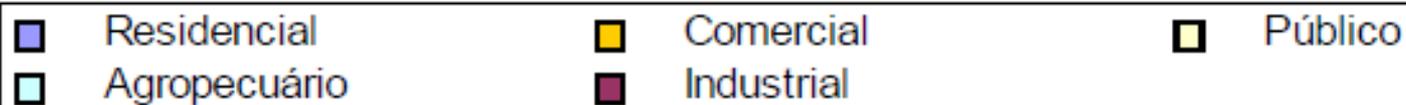
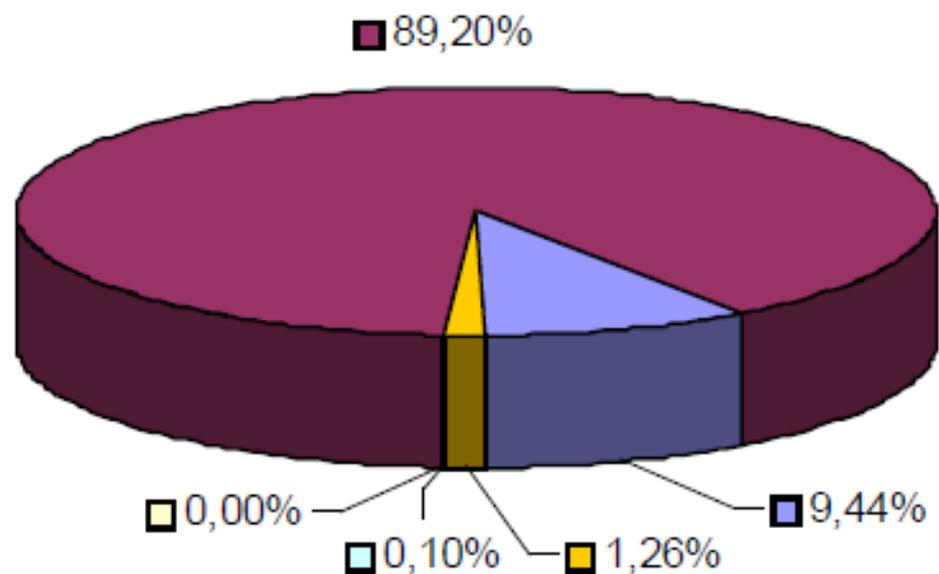


Consumo Nacional



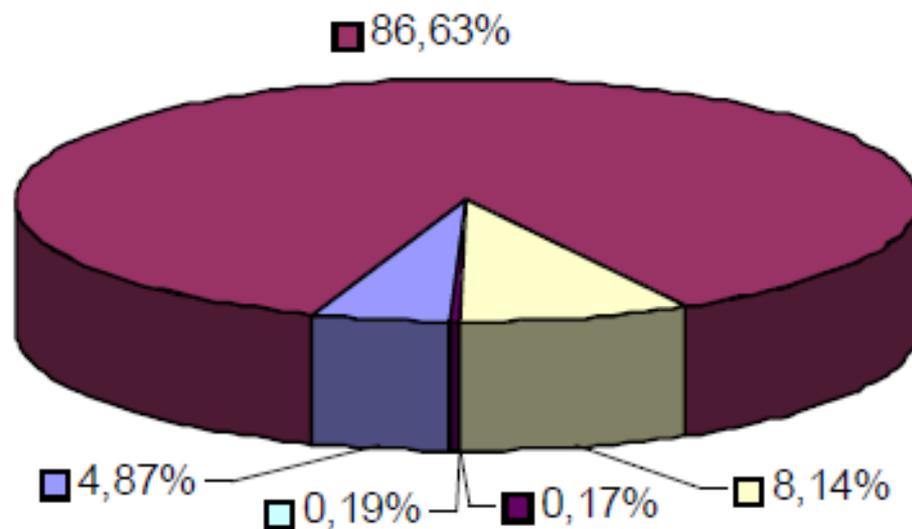
Consumo Nacional

Consumo de carvão vegetal por setor da economia



Consumo Nacional

Consumo de carvão vegetal pelo setor industrial



■ Cimento

■ Ferro-ligas

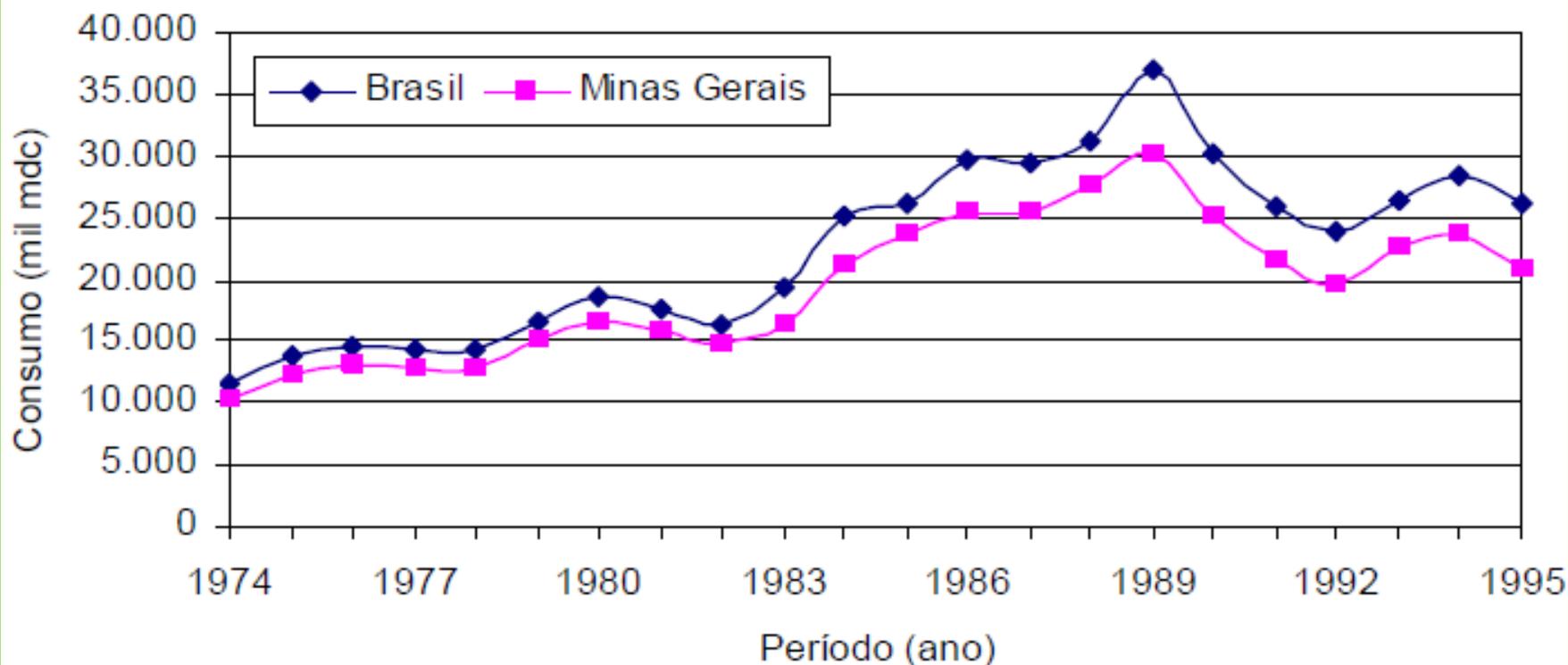
■ Outros

■ Ferro-gusa e aço

■ Não-ferrosos e outros metal.

Consumo Nacional

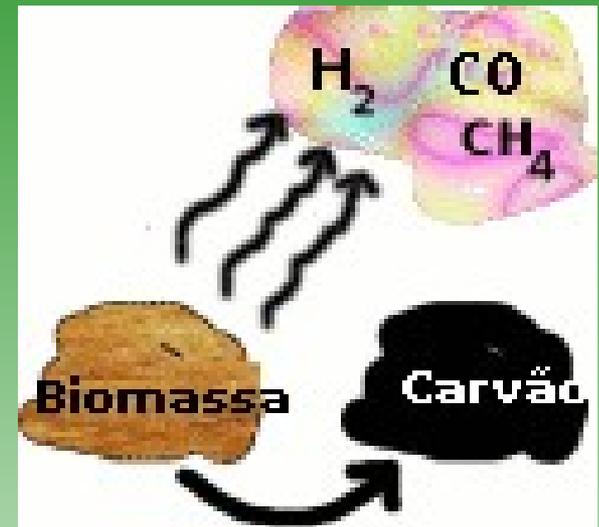
Consumo de carvão vegetal na siderurgia



Técnicas de Produção

▶ Pirólise

- A ação do calor sobre a madeira, que é um material predominantemente orgânico, implica na sua degradação.
- Por conseqüência, 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



Técnicas de Produção

▶ Pirólise

- 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.



Técnicas de Produção

▶ Processo de Carbonização

◦ **Até 200 °C**

- Ocorre a secagem da madeira. O processo é endotérmico, verificando-se a liberação de H_2O , traços de CO_2 , $HCOOH$, CH_3COOH e glioxal.

◦ **Entre 200 e 280 °C**

- O processo ainda é endotérmico, com a liberação de H_2O , CO_2 , $HCOOH$, CH_3COOH e glioxal e um pouco de CO .
- Nesta etapa, destaca-se o início da liberação de produtos com alto poder calorífico.

Técnicas de Produção

▶ Processo de Carbonização

◦ **Entre 280 e 500 °C**

- O processo é exotérmico e auto-sustentável.

– Ocorrem reações secundárias com os produtos da pirólise primária. Verifica-se a liberação de CO, CH₄, HCHO, CH₃COOH, CH₃OH, H₂ e alcatrões. Forma-se o resíduo da pirólise: o carvão vegetal.

◦ **Acima de 500 °C:**

- Processo indesejado, pois a H₂O e o CO₂ reagem com o carvão, produzindo CO, H₂ e HCHO, e diminuindo, portanto, o rendimento. Ocorrem também reações de pirólise dos gases efluentes da etapa anterior.

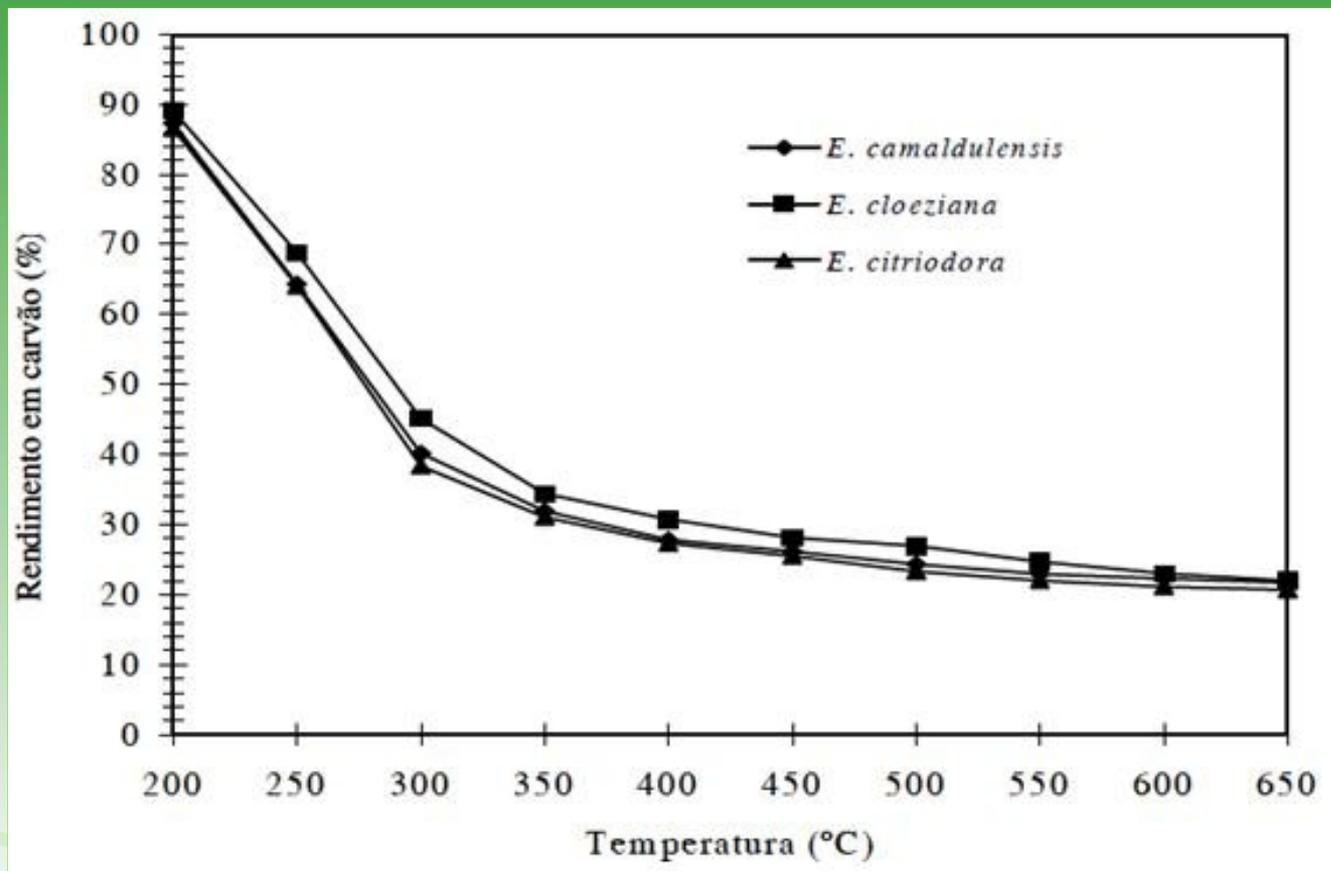
Técnicas de Produção

► Processo de Carbonização

Temperatura de carbonização (°C)	Composição elementar			Rendimento (%)
	C (%)	H (%)	O (%)	
200	52,3	6,3	41,1	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	31,0
600	92,2	2,6	5,2	29,1
700	92,8	2,4	4,8	27,8
800	95,7	1,0	3,3	26,7
900	96,6	0,7	3,2	26,6
1000	96,4	0,5	2,9	26,5

Técnicas de Produção

► Processo de Carbonização



Técnicas de Produção

- ▶ Sistemas de produção de carvão vegetal
 - 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.
 - Mais utilizada no Brasil e no mundo.

Técnicas de Produção

- ▶ Sistemas de produção de carvão vegetal
 - 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.

Técnicas de Produção

► Tipos de Fornos

- Forno meia-laranja ou “rabo-quente”
- É construído de tijolos, geralmente sem chaminé e com uma porta.



Técnicas de Produção

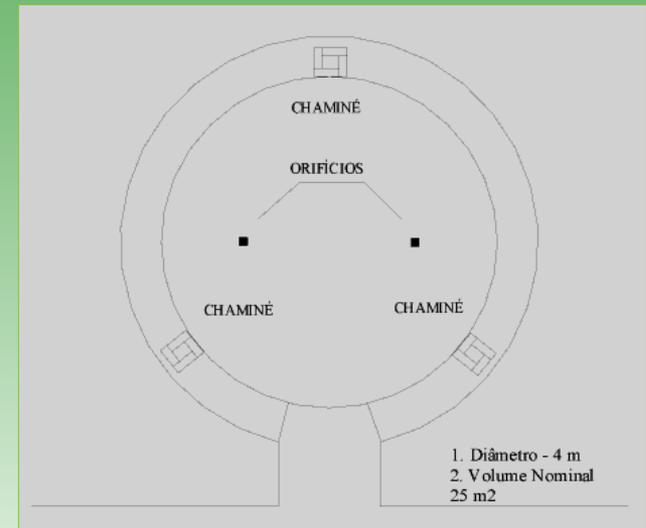
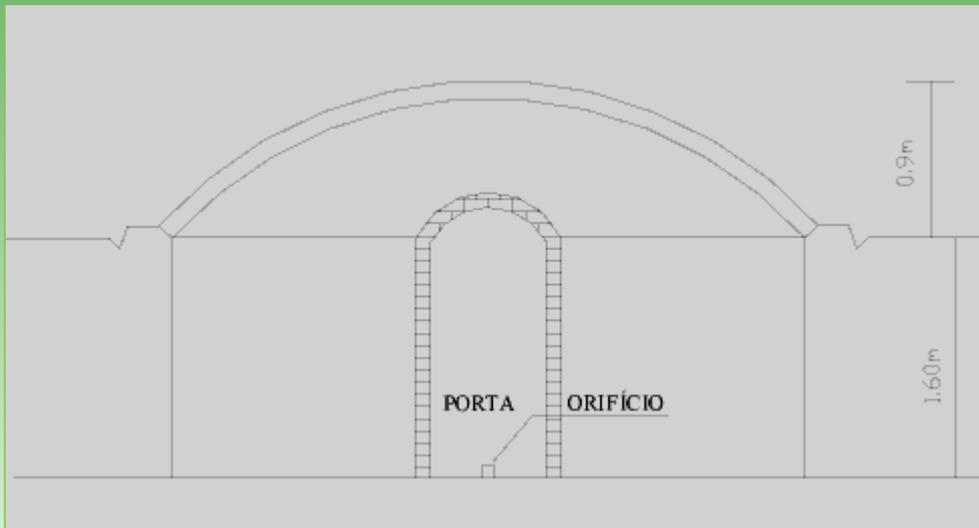
▶ Tipos de Fornos

- Forno meia-laranja ou “rabo-quente”
- Volume médio: 20 m^3 ;
- Ciclo total: 10 dias (240 h);
 - Relação de volume: $2,5 \text{ m}^3$ lenha / m^3 carvão;
- Rendimento gravimétrico: 0,16 (base seca).

Técnicas de Produção

► Tipos de Fornos

- Forno de encosta ou de barranco
- Construído com tijolos, geralmente com 1 a 3 chaminés e uma porta.



Técnicas de Produção

- ▶ Tipos de Fornos
 - Forno de encosta ou de barranco



Técnicas de Produção

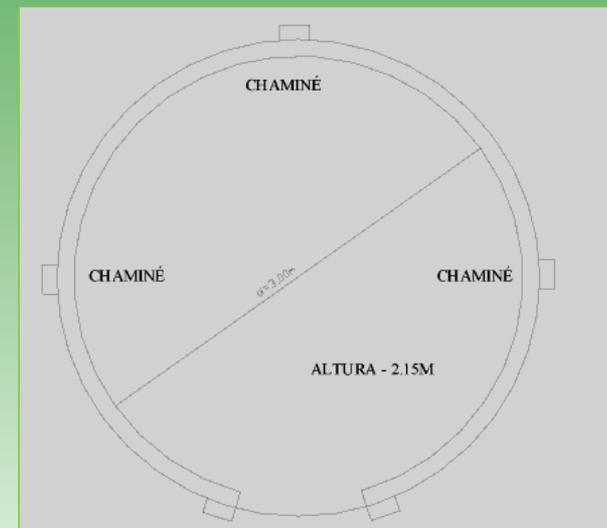
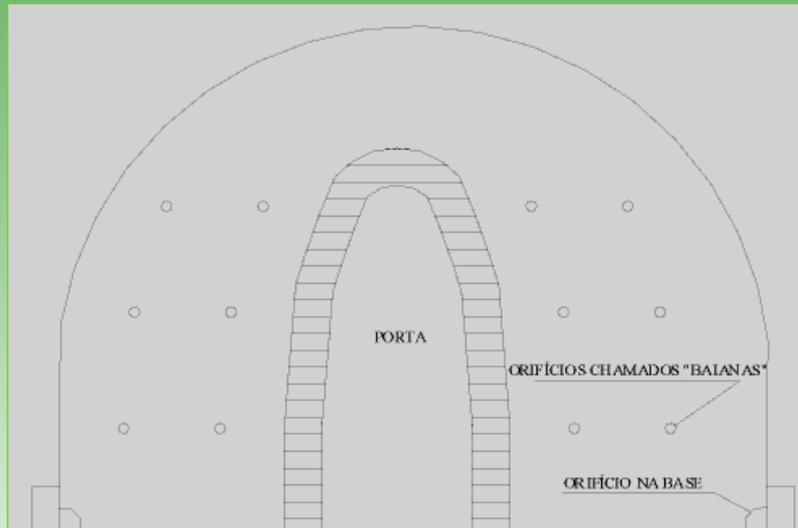
▶ Tipos de Fornos

- Forno de encosta ou de barranco
- Volume médio: 20 m^3 ;
- Ciclo total: 10 dias (240 h);
- Relação de volume: $2,3 \text{ m}^3$ lenha / m^3 carvão;
- Rendimento gravimétrico: 0,18 (base seca).

Técnicas de Produção

► Tipos de Fornos

- Forno colmeia ou de superfície
- Construído com tijolos, geralmente com 1 a 6 chaminés e com 1 ou 2 portas.



Técnicas de Produção

- ▶ Tipos de Fornos
 - Forno colmeia ou de superfície



Técnicas de Produção

▶ Tipos de Fornos

- Forno colmeia ou de superfície
- Volume médio: 36 m^3 ;
- Ciclo total: 10 dias (240 h);
- Relação de volume: $2,25 \text{ m}^3$ lenha / m^3 carvão;
- Rendimento gravimétrico: 0,18 (base seca).

Técnicas de Produção

- ▶ Tipos de Fornos
 - Retortas

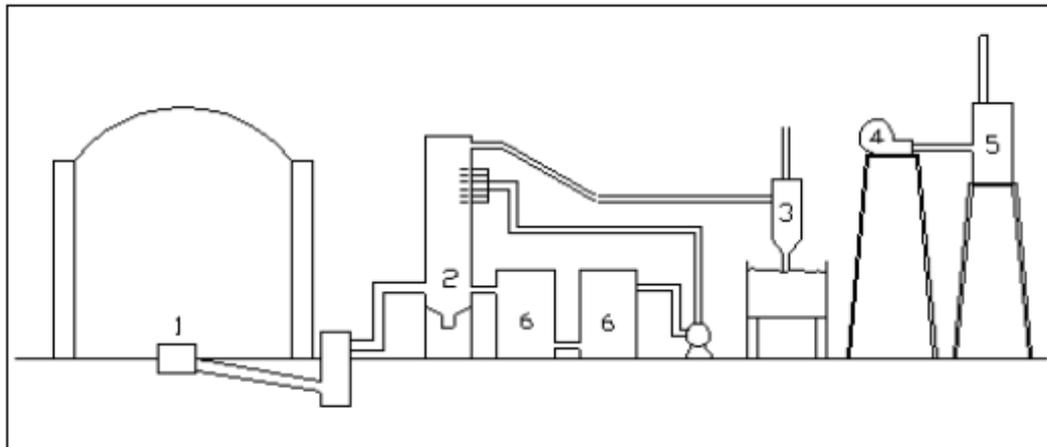


Figura 11. Esquema de uma instalação com recuperação de alcatrão
Fonte: FERREIRA, 2000

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

a coleta de alcatrão

alcatrão

Técnicas de Produção

- ▶ Tipos de Fornos
 - Retortas



Técnicas de Produção

- ▶ Sistemas de produção de carvão vegetal
 - 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.
 - Mais utilizada no Brasil e no mundo.