

## 8.1. INFORMAÇÕES GERAIS

O carvão é uma complexa e variada mistura de componentes orgânicos sólidos, fossilizados ao longo de milhões de anos, como ocorre com todos os combustíveis fósseis. Sua qualidade, determinada pelo conteúdo de carbono, varia de acordo com o tipo e o estágio dos componentes orgânicos. A turfa, de baixo conteúdo carbonífero, constitui um dos primeiros estágios do carvão, com teor de carbono na ordem de 45%; o linhito apresenta um índice que varia de 60% a 75%; o carvão betuminoso (hulha), mais utilizado como combustível, contém cerca de 75% a 85% de carbono, e o mais puro dos carvões; o antracito, apresenta um conteúdo carbonífero superior a 90%. Da mesma forma, os depósitos variam de camadas relativamente simples e próximas da superfície do solo e, portanto, de fácil extração e baixo custo, a complexas e profundas camadas, de difícil extração e custos elevados.

Em termos de participação na matriz energética mundial, segundo o Balanço Energético Nacional (2003), o carvão é atualmente responsável por cerca de 7,9% de todo o consumo mundial de energia e de 39,1% de toda a energia elétrica gerada. No âmbito mundial, apesar dos graves impactos sobre o meio ambiente, o carvão ainda é uma importante fonte de energia. As principais razões para isso são as seguintes: i) abundância das reservas; ii) distribuição geográfica das reservas; iii) baixos custos e estabilidade nos preços, relativamente a outros combustíveis.

Embora fontes renováveis, como biomassa, solar e eólica, venham a ocupar maior parcela na matriz energética mundial, o carvão deverá continuar sendo, por muitas décadas, o principal insumo para a geração de energia elétrica, especialmente nos países em desenvolvimento (AIE, 1997). Para isso, no entanto, são necessários avanços na área de P&D, visando a atender aos seguintes requisitos: i) melhorar a eficiência de conversão; ii) reduzir impactos ambientais (principalmente na emissão de gases poluentes); iii) aumentar sua competitividade comercial. Embora não sejam mutuamente excludentes, esses fatores são normalmente conflitantes, principalmente os itens ii e iii.

## 8.2. RESERVAS, PRODUÇÃO E CONSUMO

O carvão mineral é o mais abundante dos combustíveis fósseis, com reservas provadas da ordem de 1 trilhão de toneladas, o suficiente para atender à demanda atual por mais de duzentos anos, como indicado na Tabela 8.1.

TABELA 8.1 Reservas, produção e consumo de carvão mineral no mundo em 2002

	Reservas (R)		Produção (P)		Consumo		R/P*
	10 <sup>6</sup> ton	Participação no total	10 <sup>6</sup> ton	Participação no total	10 <sup>6</sup> tEP	Participação no total	Anos
América do Norte	257.783,0	26,2%	1.072,2	22,2%	591,5	24,7%	240,4
América do Sul e Central	21.752,0	2,2%	53,8	1,1%	17,8	0,7%	404,3
Europa e antiga URSS	355.370,1	36,1%	1.161,0	24,0%	506,1	21,1%	306,1
África e Oriente Médio	57.077,0	5,8%	231,0	24,0%	99,0	4,1%	373,4
Ásia (Pacífico)	292.471,0	29,7%	2.314,7	47,9%	1.183,5	49,4%	126,4
Total	984.453,1	100,0%	4.832,7	100,0%	2.397,9	100,0%	203,7
Brasil	11.929,0	1,2%	5,80	0,1%	12,00	0,5%	> 500

Fonte: BP STATISTICAL REVIEW OF WORLD ENERGY. London: BP, 2003. Disponível em: [www.bp.com/worldenergy](http://www.bp.com/worldenergy).  
 (\*) Tempo que as reservas durariam, sem novas descobertas e com o nível de produção de 2002.

As Figuras 8.1 e 8.2 ilustram as reservas mundiais e o consumo de carvão mineral no ano de 2002. No Brasil, as principais reservas de carvão mineral estão localizadas no Sul do País, notadamente no Estado do Rio Grande do Sul, que detém mais de 90% das reservas nacionais. No final de 2002, as reservas nacionais de carvão giravam em torno de 12 bilhões de toneladas, o que corresponde a mais de 50% das reservas sul-americanas e a 1,2% das reservas mundiais.

No entanto, segundo o Balanço Energético Nacional (2003), o uso energético do carvão mineral ainda é bastante restrito, representando apenas 6,6% da matriz energética brasileira. Entre outras restrições, os altos teores de cinza e enxofre (da ordem de 50% e 2,5%, respectivamente) são os principais responsáveis pelo baixo índice de aproveitamento do carvão no Brasil. Espera-se, porém, que o desenvolvimento de tecnologias de remoção de impurezas e de combustão eficiente, como descrito no próximo item, proporcione maiores índices de aproveitamento desse recurso.

### 8.3. TECNOLOGIAS DE APROVEITAMENTO

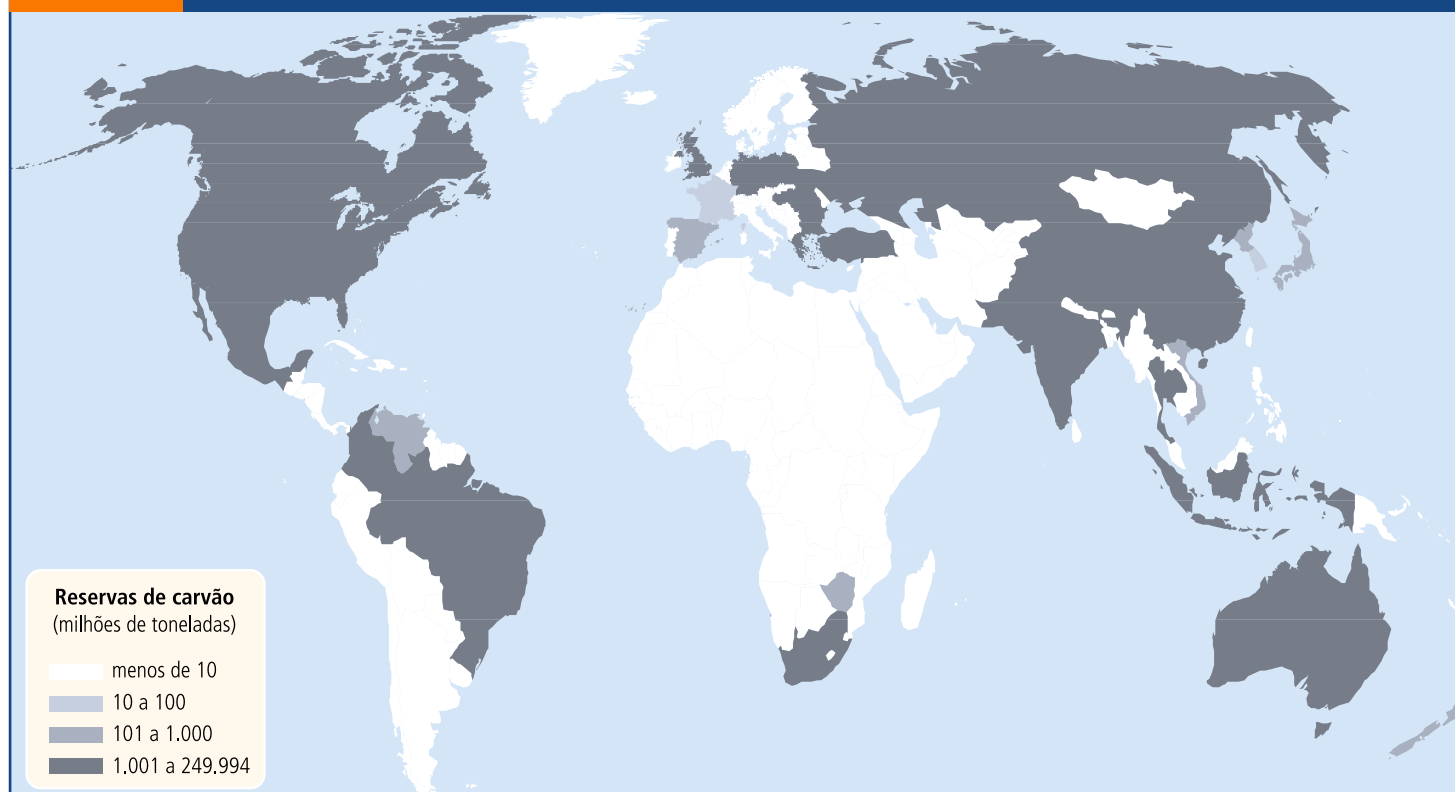
Para assegurar a importância do carvão na matriz energética mundial, atendendo principalmente às metas ambientais, tem-se pesquisado e desenvolvido tecnologias de remoção de impurezas (limpeza) e de combus-

tão eficiente do carvão (*Clean Coal Technologies*). Essas tecnologias podem ser instaladas em qualquer um dos quatro estágios da cadeia do carvão, como descrito a seguir (AIE, 1997):

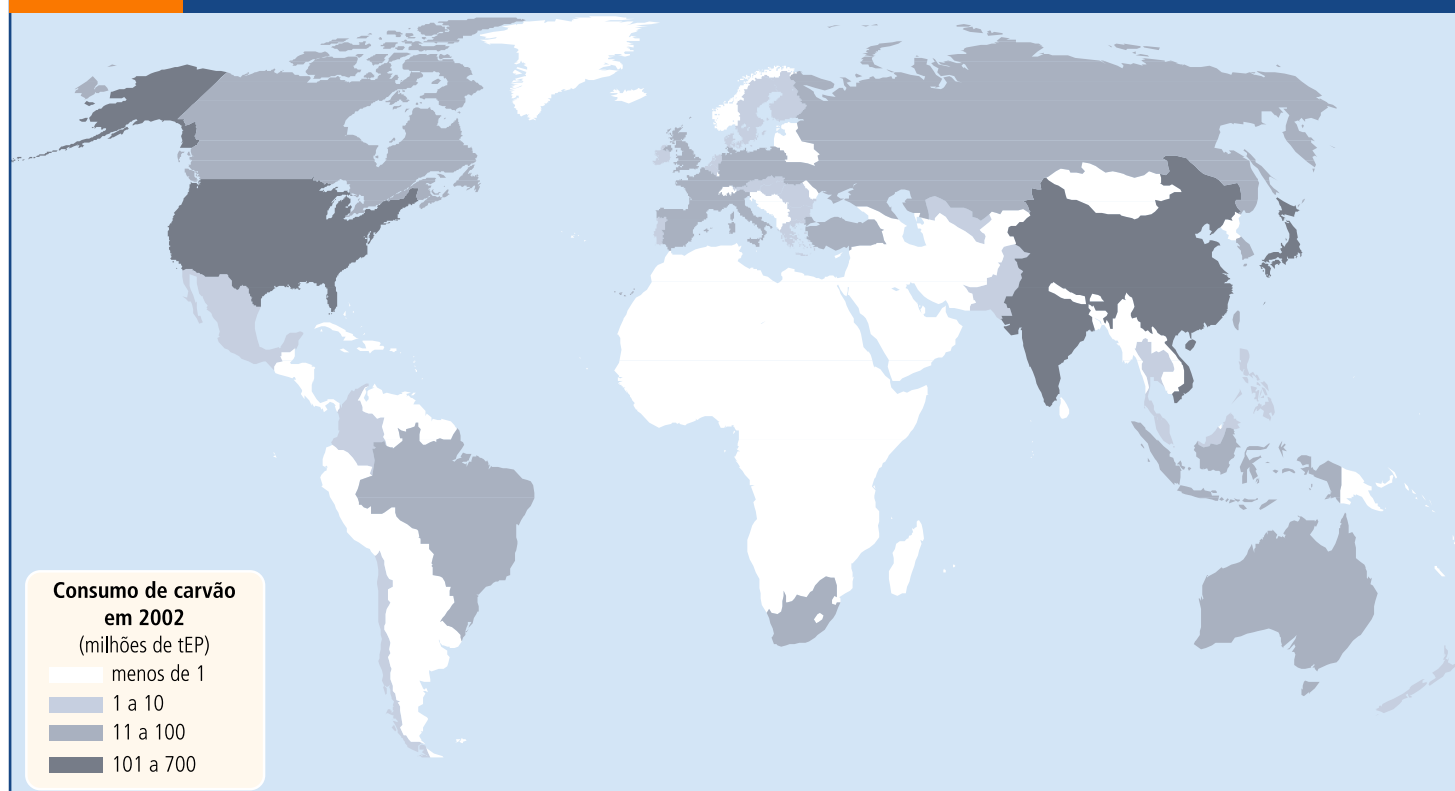
1. Remoção de impurezas antes da combustão;
2. Remoção de poluentes durante o processo de combustão;
3. Remoção de impurezas após a combustão;
4. Conversão em combustíveis líquidos (liquefação) ou gasosos (gaseificação).

**Remoção de Impurezas antes da Combustão:** Trata-se de um conjunto de técnicas destinadas à remoção de grandes proporções de enxofre e outras impurezas antes da combustão, visando a reduzir a produção de cinzas e SOx durante o estágio de combustão. Após a remoção dessas impurezas, o carvão pode ser usado não somente para a geração de energia elétrica, mas também em processos industriais que requeiram combustíveis sólidos de melhor qualidade. Atualmente, utilizam-se processos físicos e químicos de remoção de impurezas, mas uma nova tecnologia de remoção biológica, por meio de técnicas enzimáticas e microbiológicas, tem sido desenvolvida. Os processos físicos, comercialmente disponíveis, removem cerca de 30% a 50% do enxofre orgânico (10% a 30% do total) do carvão e cerca de 60% dos compostos minerais que formam as cinzas durante a combustão. Tais processos incluem a flutuação de espumas, a ciclonização de líquidos pesados, a aglomeração seletiva e a separação magnética ou eletrostática.

**FIGURA 8.1** Reservas mundiais de carvão mineral – situação em 2002 (milhões de toneladas)



**FIGURA 8.2** Consumo mundial de carvão mineral em 2002 (milhões de tEP)



Fonte (figuras 8.1 e 8.2): Elaborado com base em dados de BP STATISTICAL REVIEW OF WORLD ENERGY. London: BP, 2003. Disponível em: [www.bp.com/worldenergy](http://www.bp.com/worldenergy).

**Combustão Pulverizada:** Nos processos atuais de combustão pulverizada (CP), o carvão é queimado como partículas pulverizadas, aumentando substancialmente a eficiência da combustão e da conversão. A maioria das tecnologias modernas de CP atinge 99% de eficiência na combustão. A eficiência de conversão da energia térmica em energia elétrica pode chegar a 43%, no caso de plantas com ciclo a vapor supercrítico (temperatura entre 700°C e 720°C). Ganhos adicionais de eficiência podem ser alcançados, mas atualmente o encarecimento do sistema não os justifica. Esperam-se, porém, melhoramentos futuros, elevando a eficiência a 50%, sem aumento de custo.

**Combustão em Leito Fluidizado:** A tecnologia de combustão em leito fluidizado permite a redução de enxofre (até 90%) e de NOx (70-80%), pelo emprego de partículas calcárias e de temperaturas inferiores ao processo convencional de pulverização. Uma das vantagens em relação à combustão pulverizada convencional é a redução de enxofre sem perdas de eficiência térmica. Outra vantagem dessa tecnologia é que ela pode queimar resíduos e carvões de baixa qualidade, com baixo índice de emissões, sendo, portanto, adequada também a sistemas de incineração.

**Gaseificação Integrada a Ciclos Combinados:** A tecnologia de gaseificação integrada do carvão é recente e consiste na reação do carvão com vapor de alta temperatura e um oxidante (processo de

gaseificação), dando origem a um gás combustível sintético de médio poder calorífico. Esse gás pode ser queimado em turbinas a gás, onde o calor residual dos gases de exaustão pode ser recuperado e aproveitado por meio de uma turbina a vapor (ciclo combinado). Isso possibilita a remoção de cerca de 95% do enxofre e a captura de 90% do nitrogênio.

Em termos de perspectivas, estudos indicam que as várias tecnologias de uso racional do carvão apresentam diferentes estágios de desenvolvimento. Somente uma delas, a combustão pulverizada (CP), pode ser considerada tecnológica e comercialmente aprovada (AIE, 1999). Em termos de flexibilidade de combustível, destacam-se as plantas de leito fluidizado (LF). Em termos ambientais, destaca-se a gaseificação integrada (GI).

Nos próximos dez anos, grande parte da instalação de novas plantas de geração termelétrica a carvão deverá se concentrar no Sudeste Asiático, principalmente na China e na Índia. A maioria delas será formada por plantas de CP, porém de eficiência relativamente baixa.

A Tabela 8.2 e o Quadro 8.1, a seguir apresentados, sintetizam o estado da arte de várias tecnologias de limpeza e combustão eficiente do carvão.

**TABELA 8.2 Síntese do estado da arte de tecnologias de combustão eficiente do carvão**

Tecnologia	Situação	Eficiência de conversão (%)	Custo de capital (US\$/kWe)	Redução nas emissões %	
				SOx	NOx
Combustão Pulverizada	Comercial	38-47	1300-1500	-	-
Comb. em Leito Fluid. I*	Com./Dem.	34-37	1450-1700	90-95	60
Comb. em Leito Fluid. II**	Com./Dem.	37-39	1450-1700	90-95	60
Comb. em Leito Fluid. III***	Demonstrado	42-45	1450-1700	98-99	70
Gaseificação Integrada (GI)	Demonstrado	45-48	1450-1700	92-99	98-99
Célula de Combustível GI	P&D	40-60	1700-1900	85-95	92
Combustão Direta (Turbina)	P&D	35-45	1200	85-95	70-80
Combustão Direta (Diesel)	P&D	35-40	500-1000	80	50

Fonte: AGÊNCIA INTERNACIONAL DE ENERGIA – AIE. Energy technologies for the 21st Century. Paris, 1997. Disponível em: [www.iea.org/techno/index.htm](http://www.iea.org/techno/index.htm).

(\*) Pressão atmosférica

(\*\*) Circulação (vapores sub e supercríticos)

(\*\*\*) Pressurização (vapores sub e supercríticos)

QUADRO 8.1. Necessidade de P&amp;D em tecnologias de limpeza e combustão eficiente do carvão

<i>Tecnologia</i>	<i>Necessidade de P&amp;D</i>
<i>Combustão Pulverizada</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <i>Parâmetros de combustão otimizada</i></li> <li>• <i>Pesquisas teóricas e experimentais de redução de NO<sub>x</sub></i></li> <li>• <i>Técnicas avançadas de construção e aplicação de materiais de alta temperatura</i></li> </ul>
<i>Limpeza de Gás de Exaustão</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <i>Catalisadores eficientes de baixo custo e longa vida útil</i></li> <li>• <i>Redução não-catalítica de NO<sub>x</sub></i></li> <li>• <i>Absorvente seco para a remoção de SO<sub>2</sub></i></li> <li>• <i>Utilização de produtos sólidos</i></li> </ul>
<i>Combustão em Leito Fluidizado</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <i>Componentes eficientes de longa durabilidade</i></li> <li>• <i>Disposição das cinzas</i></li> <li>• <i>Demonstração dos processos de combustão pressurizada</i></li> </ul>
<i>Turbina a Gás</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <i>Temperatura mais elevada de entrada</i></li> <li>• <i>Novas tecnologias de resfriamento e materiais cerâmicos</i></li> <li>• <i>Queimadores de alta temperatura com baixo fluxo de gás calorífico e NO<sub>x</sub></i></li> </ul>
<i>Ciclo combinado</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <i>Limpeza de gás quente</i></li> <li>• <i>Integração da combustão em LF e da gaseificação em termelétricas</i></li> <li>• <i>Flexibilização e modulação dos componentes</i></li> <li>• <i>Combustão pulverizada e pressurizada</i></li> <li>• <i>Componentes de metal líquido para ciclo binário de Rankine</i></li> </ul>
<i>Gaseificação</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <i>Demonstração de operações confiáveis</i></li> </ul>
<i>Hidrogenação</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <i>Melhoramentos nos processos de hidrogenação, incluindo refino</i></li> </ul>

Fonte: AGÊNCIA INTERNACIONAL DE ENERGIA – AIE. Energy technologies for the 21st Century. Paris, 1997. Disponível em: [www.iea.org/techno/index.htm](http://www.iea.org/techno/index.htm).

## 8.4. GERAÇÃO TERMELÉTRICA A CARVÃO NO BRASIL

A abundância das reservas e o desenvolvimento de tecnologias de “limpeza” e combustão eficiente, conjugados à necessidade de expansão dos sistemas elétricos e restrições ao uso de outras fontes, indicam que o carvão mineral continuará sendo, por muitas décadas, uma das principais fontes de geração de energia elétrica no Brasil.

Os primeiros aproveitamentos do carvão mineral para a geração de energia elétrica no Brasil datam de fins dos anos 1950, em decorrência da sua substituição por óleo diesel e eletricidade no setor do transporte ferroviário. Naquela época, foram iniciados estudos e, em seguida, a construção das usinas termelétricas de Charqueadas, no Rio Grande do Sul, com 72 MW de potência instalada, Capivari, em Santa Catarina, com 100 MW, e Figueira, no Paraná, com 20 MW (ANEEL; ANP, 2000).

Em setembro de 2003, havia 7 (sete) centrais termelétricas a carvão mineral em operação no Brasil, totalizando 1.415 MW de potência instalada (Tabela 8.3). Na Figura 8.3, como exemplo, uma unidade do complexo de Jorge Lacerda. A Figura 8.4 mostra a distribuição dessas centrais, todas no Sul do País.

Quanto aos novos empreendimentos, havia, naquela data, o registro de seis centrais outorgadas (construção não-iniciada), que poderão adicionar ao sistema elétrico nacional cerca de 2.721 MW de potência instalada. Entre esses projetos, destaca-se o de Sepetiba, no Estado do Rio de Janeiro, com 1.377 MW (Tabela 8.4). Na Figura 8.4 também constam esses projetos.

**FIGURA 8.3** Unidade do complexo termelétrico de Jorge Lacerda



Fonte: CENTRAIS GERADORAS DO SUL DO BRASIL. Unidade do complexo termelétrico de Jorge Lacerda. 2003.

**TABELA 8.3** Centrais termelétricas a carvão mineral em operação no Brasil – situação em setembro de 2003

Usina	Potência (kW)	Destino da Energia	Proprietário	Município – UF
Charqueadas	72.000	PIE	Tractebel Energia S/A	Charqueadas – RS
Figueira	20.000	SP	Copel Geração S/A	Figueira – PR
Jorge Lacerda I e II	232.000	PIE	Tractebel Energia S/A	Capivari de Baixo – SC
Jorge Lacerda III	262.000	PIE	Tractebel Energia S/A	Capivari de Baixo – SC
Jorge Lacerda IV	363.000	PIE	Tractebel Energia S/A	Capivari de Baixo – SC
Presidente Médici A/B	446.000	SP	Companhia de Geração Térmica de Energia Elétrica	Candiota – RS
São Jerônimo	20.000	SP	Companhia de Geração Térmica de Energia Elétrica	São Jerônimo – RS

Fonte: AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA – ANEEL. Banco de Informações de Geração – BIG. 2003. Disponível em: [www.aneel.gov.br/15.htm](http://www.aneel.gov.br/15.htm).

**TABELA 8.4** Centrais termelétricas a carvão mineral outorgadas (construção não-iniciada) – situação em setembro de 2003

Usina	Potência (kW)	Destino da Energia	Proprietário	Município – UF
Concórdia	5.000	APE	Sadia S/A	Concórdia - SC
Jacuí	350.200	PIE	Tractebel Energia S/A	Charqueadas - RS
Seival	542.000	PIE	Usina Termelétrica Seival Ltda.	Candiota - RS
Sepetiba	1.377.000	PIE	Itaguaí Energia S/A	Itaguaí - RJ
Sul Catarinense	440.300	PIE	Usina Termelétrica Sul Catarinense S/A	Treviso - SC
Viena	7.200	APE	Viena Siderúrgica do Maranhão S/A	Açailândia - MA

Fonte: AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA – ANEEL. Banco de Informações de Geração – BIG. 2003. Disponível em: [www.aneel.gov.br/15.htm](http://www.aneel.gov.br/15.htm).

FIGURA 8.4

Empreendimentos futuros e em operação – situação em setembro de 2003



Fonte: Elaborado com base em dados de AGENCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA - ANEEL. Banco de Informações de Geração - BIG. 2003. Disponível em: [www.aneel.gov.br/15.htm](http://www.aneel.gov.br/15.htm).

## 8.5. IMPACTOS SOCIOAMBIENTAIS

Os maiores impactos socioambientais do carvão decorrem de sua mineração, que afeta principalmente os recursos hídricos, o solo e o relevo das áreas circunvizinhas. A abertura dos poços de acesso aos trabalhos de lavra, feita no próprio corpo do minério, e o uso de máquinas e equipamentos manuais, como retroescavadeiras, escarificadores e rafas, provocam a emissão de óxido de enxofre, óxido de nitrogênio, monóxido de carbono e outros poluentes da atmosfera.

Durante a drenagem das minas, feita por meio de bombas, as águas sulfurosas são lançadas no ambiente externo, provocando a elevação das concentrações de sulfatos e de ferro e a redução de pH no local de drenagem.

O beneficiamento do carvão gera rejeitos sólidos, que também são depositados no local das atividades, criando extensas áreas cobertas de material líquido, as quais são lançadas em barragens de rejeito ou diretamente em cursos de água. Grande parte das águas de bacias hidrográficas circunvizinhas é afetada pelo acúmulo de materiais poluentes (pirita, siltito e folhelhos). As pilhas de rejeito são percoladas pelas águas pluviais, ocasionando a lixiviação de substâncias tóxicas, que contami-

nam os lençóis freáticos. A posterior separação de carvão coqueificável de outras frações de menor qualidade forma novos depósitos, que cobrem muitos hectares de solos cultiváveis.

No Brasil, a região Sul é a que apresenta maiores transtornos relacionados ao impacto da extração de carvão. As cidades de Siderópolis e Criciúma estão entre as que apresentam graves problemas socioambientais. Em virtude dos rejeitos das minas de carvão, a cidade de Siderópolis enfrenta a ocupação desordenada das terras agricultáveis. Os trabalhadores das minas e seus familiares também são afetados diretamente pelas emissões de poeiras provenientes desses locais. Doenças respiratórias, como asma, bronquite, enfisema pulmonar e até mesmo a pneumoconiose, estão presentes no cotidiano dessa população.

Além dos referidos impactos da mineração, a queima de carvão em indústrias e termelétricas causa graves impactos socioambientais, em face da emissão de material particulado e de gases poluentes, dentre os quais se destacam o dióxido de enxofre (SO<sub>2</sub>) e os óxidos de nitrogênio (NO<sub>x</sub>). Além de prejudiciais à saúde humana, esses gases são os principais responsáveis pela formação da chamada chuva ácida, que provoca a acidificação do solo e da água e, conseqüentemente, alterações na biodiversidade, entre outros impactos negativos, como a corrosão de estruturas metálicas.