Capítulo XI

Recursos Minerais Energéticos: Carvão e Urânio

Energy Mineral Resources: Coal and Uranium

Aramis J. Pereira Gomes[1], Paulo Roberto Cruz[2] e Lindemberg Pinheiro Borges[2]

[1]*CPRM - Serviço Geológico do Brasil*

[2]*CNEN - Comissão Nacional de Energia Nuclear*

Summary

Coal

The first occurrence of coal in Brazil was discovered by Portuguese soldiers in 1795, in the localities of Minas do Leão and Bagé in the Rio Grande do Sul state (RS). In 1822 coal was discovered in Santa Catarina (SC), where in 1876 a railroad was constructed to transport the coal from the mines to a harbor on the coast (Imbituba). In 1928 coal provided Porto Alegre – the capital city of RS – with gas and electric power.

Brazilian coal reached higher levels of production during World Wars I and II. After World War II the first Brazilian metallurgic plant in Volta Redonda, Rio de Janeiro state, used coking coal from mines in Criciuma – SC and nearby counties, which was added to imported coal. Studies on large scale generation of electricity after coal in 1942 led in 1960 to the first 20 MW thermoelectric plant in Candiota. Four more plants followed suit: Charqueadas, Butiá and São Jeônimo in RS; and Jorge Lacerda in SC.

During the world oil crisis in 1973–1979, and up to 1986, coal exploration aimed at locating alternative energy sources led to the definition of fourteen coal fields of greater significance. Eight of those coal fields (Candiota, Capané, Irui, Leão, Charqueadas, Morungava-Chico Lomã and Sul-Catarinense) are responsible for 30,150x10^6 t, or 93.4% of the total discovered resources, that reaches 32,279x10^6 t of contained coal (not R.O.M.).

In Brazil Coal is only exploited economically from Permian strata of the Paraná Basin. It is mostly classified as humic, with vitrinite and inertinite groups comprising around 20–30% and occasionally with high contents of exinite, resembling a sapropelic facies. Its high content of ashes (35–54%) is related to the depositional environment, with deltaic fans in barrier-lagoon systems with low subsidence rates providing for peat deposits and large amounts of fine sediments associated with vegetal matter. The proximity of the sea and periodical invasions of salty waters are responsible by a content of around 1% sulfur. The diagenetic history was associated with high thermal gradient related to the Cretaceous Serra Geral magmatism and resulted in different levels of maturation. The classification of the coal, in accordance to ASTM parameters, ranges from Bituminous High Volatile C, not coking (Candiota, Capané, Iruí, Leão e Charqueadas); to Bituminous High Volatile C, not coking but with

highest vitrinite reflectance, reaching 0.6–0.7% (Morungava–Chico-Lomã); Bituminous High Volatile B coking coal (Morungava–Chico-Lomã MCL4 and Santa Terezinha ST4 coal seams); and Bituminous High Volatile A (Sul-Catarinense).

The Candiota Coal Field, near the border with Uruguay, is the largest Brazilian coal field, with 2,000 km² and 12x10⁶ t of coal resources and 17 coal seams. The Candiota Coal strata averages 4,5 m thick (locally thicker than 6 m) with 63% of the total resources, 18% of which beneath an overburden of less than 50 m. The Candiota Mine, operated by CRM – Companhia Riograndense de Mineração, an state owned company, is an open pit mine which produces 200,000 t R.O.M. monthly, burned in natura at the Presidente Médici Thermoelectric Plant, producing 446 MW at the cost of U$2.7/Gcal or U$0.688/Mbtu.

The Capané and Iruí Coal Fields are elongated SW–NE stripped coal fields, ca. 600 km² and 850 km² long with resources of 1,010x10⁶ t and 1,665x10⁶ t of coal, respectively. In Capané, Capanézinho is exploited by the Palermo Mining Company, that processes and produces coal with 35–45% of ashes and less than 0.6% of sulfur. In Iruí, the Upper Iruí totals 1,442x10⁶ t of coal resources, with a thickness of 1.5–2.0 m and the capacity to produce coal with 35% of ashes and less than 0.3% of sulfur.

The Leão Coal Field is the oldest in RS, totaling 2,439x10⁶ t of resources over 1,070 km² and locally referred to as Recreio and Butiá Leste. Mining activity occurs in open pits (Recreio and Butiá Leste, run by COPELMI – Companhia de Pesquisa e Lavras Minerais) and underground (Leão I, run by Companhia Riograndense de Mineração – CRM; and Leão II, not operational). Areas for open pit operation with less than 50 m overburden are scarce, the future for the Leão coal field relying on underground mines at depths of 150–300 m. The mean thickness of the coal mined underground is 1.80 m and after processing it produces 50% of coal with 35% in ashes, less than 0.6% sulfur and weak coking proprieties.

The Charqueadas Coal Field comprises six coal seams with 2,993x10⁶ t of coal resources over 800 km² in Santa Rita and Guaíba. The northern limit is poorly defined beyond depths of more than 300m. Although exploited in the past, the mine is presently not economically viable. The most significant coal seams are named Inferior 1 (I1F), with 1,334x10⁶ t of coal; Inferior 2 (I2B), with 975x10⁶ t; and Superior (SB) with 648x10⁶ t. After processing, the 11F produces less than 35% of coal with 35% in ashes and low sulfur content. Similar characteristics are anticipated for SB and I2B on the basis of drill core analyses.

The Morungava–Chico Lomã and Santa Terezinha coal fields are mostly classified has Bituminous High Volatile B with cooking properties. The Morungava-Chico Lomã is east-west elongated over an area of 1200 km². It has seven coal seams named M/CL1 to M/CL7; with total resources of 3,092x10⁶ t, being 1,104 x10⁶ t in M/CL4 and 1,169x10⁶ t in M/CL6. Overburden varies from less than 50 m at the South to more than 300 m at the North. Most of the main coal seams are at depths of 50 to 300 m, M/CL4 being the most significant with 24% of high quality coal (15% ashes and 0.7% of sulfur) and 35% of an intermediate product (40% ashes). Reflectance of vitrinites ranges from 0.6 to 0.65% and the content of exinite varies from 10 to 18%. The high quality product is adequate for steel metallurgy, while the intermediate product can be used in thermoelectric plants.

Santa Terezinha, located near the shore and probably extending under platform sediments, has more than 1,000 km² of explored area and seven coal seams, named ST 1 to ST 7, totaling 4,288x10⁶ t of coal resources. ST4, ST5 and ST6 are the most significant. ST4 is the best coal known in Brazil, with a mean thickness of 2.30 m. Some 60% of its resources (of the order of 1,863x10⁶ t) comprise high quality coal with 15% of ashes and 1.0% of sulfur; and a further 20% comprise an intermediate product with 40% ashes. Its overburden, though, is thicker than 500 m in places.

The most exploited coal field in Brazil is the Sul-Catarinense, with three open pits and seven underground mines which yield 30 to 35% of coal with 4,500 cal/g used in the Jorge Lacerda Thermoelectric Plant. The main field is over 85 km long and 5–20 km wide, elongated south–north. The total resources reach 4,288x10⁶ t and are concentrated in the Barro Branco (1,323x10⁶ t), Bonito (1,843x10⁶ t) and Irapuá. Barro Branco is classified as Bituminous High Volatile A coking coal with high exinite content, and can be considered as transitional from humic to sapropelic coal with high sulfur content (1–3%). In some areas crosscut by diabase the heat flow generated Antracite (e.g. "Montanhão").

In the Paraná State, the Sapopema and Cambuí Coal Field produces coal with 6,000 cal/g and 8% sulfur content. Resources are evaluated at 64x10⁶ t for the Cambuí and 22.7x10⁶ t for Sapopema.

Coal represents 50% of Brazilian fossil fuel reserves but its production is low when compared to that of other countries. In 1999 Brazil produced 10x10⁶ t (R.O.M.) of coal, corresponding to 6x10⁶ t of commercial coal, of which 85% was used by thermoelectric plants, 6% by petrochemical industries, 4% by paper and cellulose industries and 5% distributed among food, ceramic and tobacco industries. In this year Brazil imported 13x10⁶ t of coking coal from USA, Canada, Poland, Australia, South Africa and China. Coal (production + imports) accounts for 9.19% the Brazilian energy matrix while in Australia, India and South Africa it ranges from 44 to 76%.

The future for Brazilian coal is closely related to its use in generation of energy, while the use of coking coal depends on both environmental issues and the feasibility of local exploitation costs compared to international prices. Plants for thermoelectricity and coal gaseification are a plausible means by which to push the coal production to a level closer to that of countries that have reached a better equilibrium between different power sources. Environmental damage can be minimized or even eliminated by the

use of coal clean technologies (CCT) which are being studied by Brazilian research institutes such as CIENTEC (Fundação de Ciências e Tecnologia/RS – RS), CETEM (Centro de Tecnologia Mineral – RJ), IPT (Instituto de Pesquisas Tecnológicas – SP) and CETESC (Centro Tecnológico do Estado de Santa Catarina).

Uranium

Brazil has sufficient uranium resources to attend it needs over the long term, ranking 6th in the world with only 25% of its territory explored. The vast majority of such reserves were defined in the period from 1975 to 1984, a period when known resources had grown from 11,000 tons to 301,490 tons. A further 309,370 tons of uranium ore from Lagoa Real–BA have since been added to the inventory. Uranium resources associated to other minerals e.g. Pitinga in the Amazonas state and Carajás in the Pará state (Dardenne and Schobbenhaus, 2001) represent an additional potential of the order of 150,000 tons.

The first uranium mining and processing complex built in Brazil has been operational in Poços de Caldas, southern Minas Gerais state, since 1982 and is presently being decommissioned. Its production has been employed in the nuclear reactor of Angra I and in technological development programs.

Itataia, Ceará state, has uranium resources of the order of 142,500 tons associated to phosphate. Mining reserves have been defined at 79.5 million tons of ore with grades of the order of 11% P205 and 998 ppm U_3O_8, P_2O_5 contents of 8.9 million tons and 79.3 thousand tons of U_3O_8. Despite the fact that it is the greatest uranium reserve of the country, the production of uranium is only feasible because of the associated phosphate. The economic production of uranium in Itataia is thus conditioned to the production of phosphoric acid, which is used in the production of fertilizers.

To be economically viable, uranium deposits are highly dependent of grades and chosen technological process. Cazakstan holds the greatest uranium reserves in the world, followed by Australia, South Africa, United States, Canada and Brazil. The world production of uranium has diminished since 1988 due to low prices which caused some low grade mines in eastern Europe to close down. In part, such low prices are explained by sales of strategic stockpiles accumulated during the cold war. On the other hand, countries that traditionally produce yellowcake e.g. Canadá and Australia have expanded their plants.

Carvão Mineral do Brasil

Introdução

O carvão brasileiro ocorre em coberturas plataformais Fanerozóicas da Bacia do Paraná (Dardenne e Schobbenhaus, 2001). As camadas de carvão de idade Permiana pertencentes à Formação Rio Bonito do Grupo Guatá (Supergrupo Tubarão) contêm as jazidas conhecidas de carvão nos estados do Rio Grande do Sul, Santa Catarina e Paraná (Fig. XI.1). Nove destas jazidas são de maior importância, a saber: Sul-Catarinense (SC), Santa Terezinha, Morungava–Chico Lomã, Charqueadas, Leão, Iruí, Capané e Candiota (RS) e Figueira–Sapopema (PR). As jazidas de Capané, Iruí, Leão e Charqueadas, no Rio Grande do Sul, e outras menores, estão na bacia do rio Jacuí, e por isso são denominadas de jazidas do Baixo Jacuí.

O Brasil dispõe de vastas reservas de combustíveis fósseis. Segundo o BEN – Balanço Energético Nacional (Fig. XI.2), o carvão participa com 50%, a energia nuclear com 26%, o petróleo com 10%, os folhelhos betuminosos com 10%, o gás natural com 3% e a turfa com 1%.

As principais reservas do carvão brasileiro situam-se ao sul do paralelo 24º S (Fig. XI.1), somam 32 bilhões de toneladas e têm afinidade energética, ou seja: têm aplicação na produção de calor e vapor industrial e na sua transformação em energia elétrica. A grande jazida de carvão metalúrgico de Morungava–Chico Lomã–Santa Teresinha, descoberta pela CPRM no Estado do Rio Grande do Sul nos anos setenta, tem qualidade coqueificante e pode potencialmente servir a fim mais nobre suprindo futuramente às siderúrgicas nacionais.

Para tanto faz-se necessário o uso de modernas técnicas de preservação, como: circuito fechado de águas no beneficiamento, bacias de decantação seladas, conservação do solo orgânico, condicionamento adequado de rejeitos, recuperação topográfica, florestamento e repaisagismo das áreas lavradas, assim como o uso de filtros de mangas e precipitadores eletrostáticos das cinzas e o monitoramento do impacto das operações de lavra nas águas, no ar e no solo.

A evolução dos processos de mineração e do uso do carvão com respeito ambiental no Brasil permite antever um maior uso do combustível nacional em sua matriz energética, seguindo exemplos dos países mais industrializados e equilibrando a produção de energia elétrica, hoje tão vulnerável a fatores climáticos.

A maioria das jazidas acompanha linhas de afloramentos das camadas de carvão próximas à borda atual da Bacia Sedimentar do Paraná e localizam-se na Fm. Rio Bonito (Fig. XI.3) sob unidades sedimentares e derrames de rochas basálticas Mesozóicas (Gomes *et al.* 1998). Os recursos e

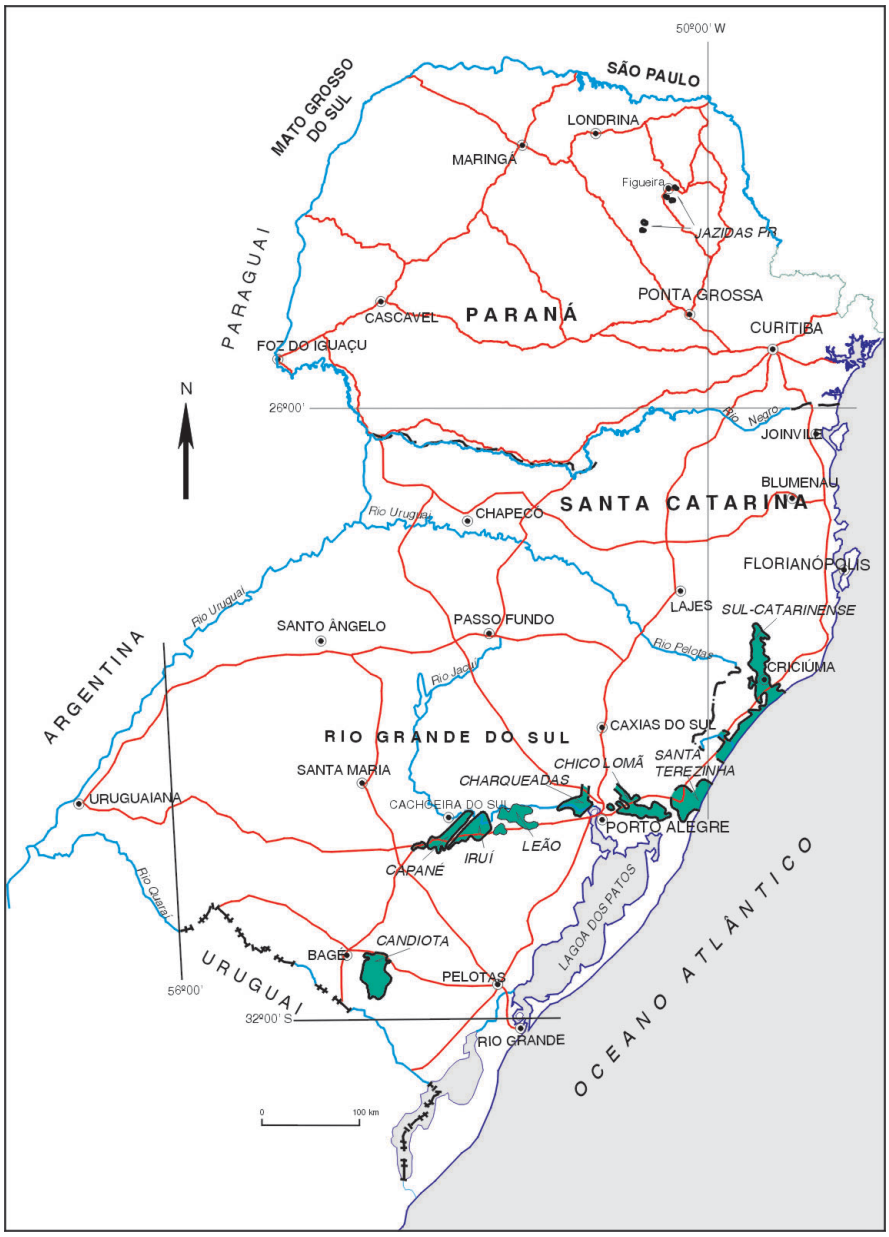


Figura XI.1 – Localização das principais Jazidas de Carvão da Bacia do Paraná (RS, SC e PR). Modificado de Süffert (1997) e Aboarrage e Lopes (1986)

Figure XI.1 – Location of major coal deposits in Paraná Basin (RS, SC and PR). Modified from Süffert (1997) and Aboarrage and Lopes (1986)

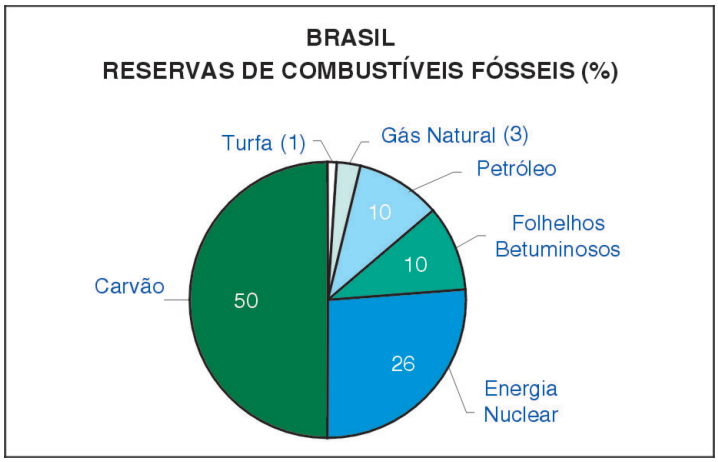


Figura XI.2 – Reservas de Combustíveis Fósseis no Brasil (%) (DNPM, 2000)

Figure XI.2 – Fossil fuel reserves in Brazil (%) (DNPM, 2000)

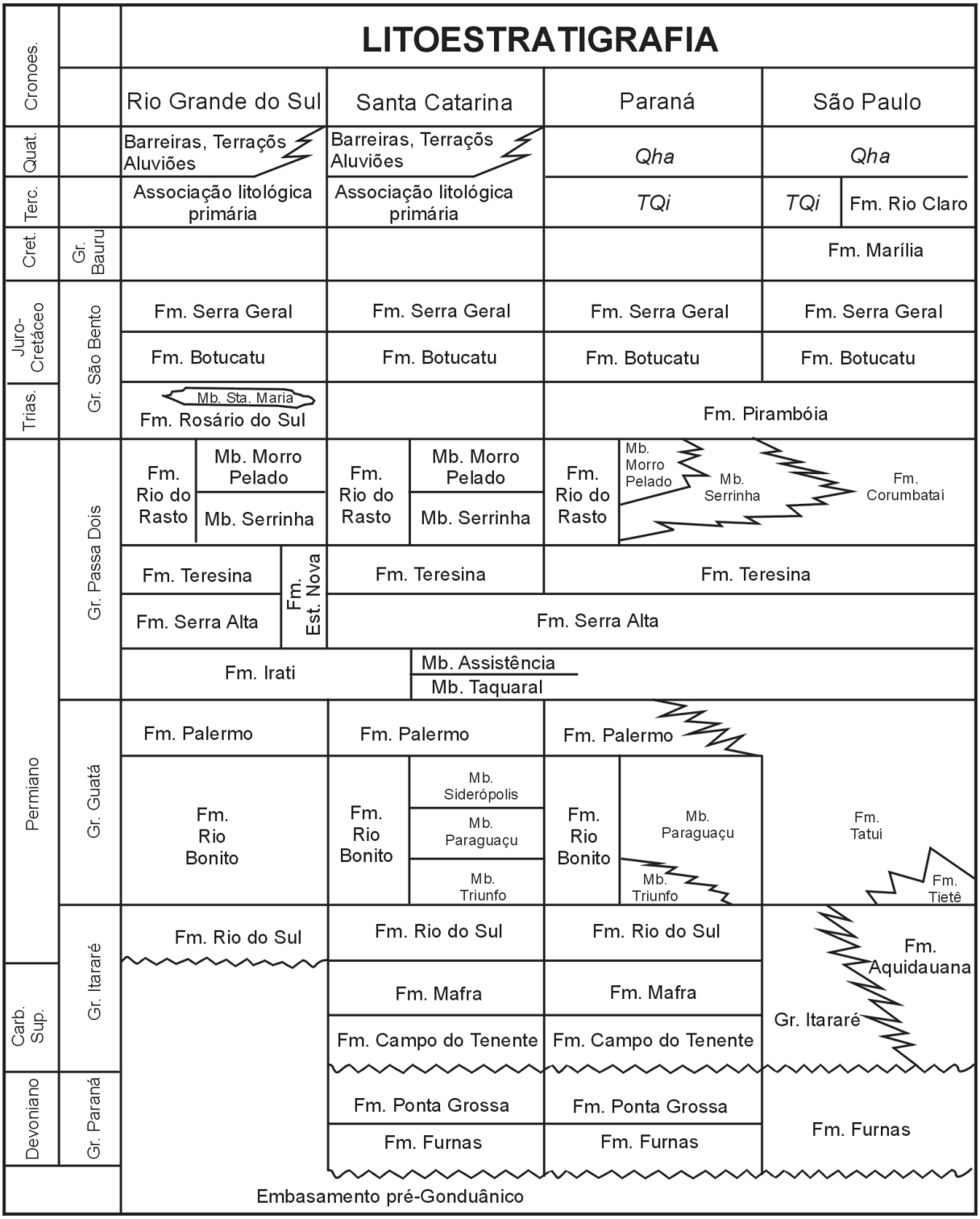


Figura XI.3 – Coluna Estratigráfica da Bacia do Paraná conforme utilizada no Projeto "A Borda Leste da Bacia do Paraná: Integração Geológica e Avaliação Econômica" (Aboarrage e Lopes, 1986)

Figure XI.3 – Stratigraphic column of Paraná Basin as used in the Project "The Eastern Edge of the Paraná Basin: Geological Integration and Economic Evaluation" (Aboarrage and Lopes, 1986)

reservas de carvão no Brasil somam 32 bilhões de toneladas *in situ,* dos quais cerca de 28 bilhões de toneladas (89%) estão no Rio Grande do Sul; 3,3 bilhões de toneladas de carvão (10%) em Santa Catarina; 103 milhões de toneladas (0,3%) no Paraná e apenas 8,5 milhões de toneladas no Estado de São Paulo (Tab. XI.1).

Exceções são a parte leste da Jazida Morungava–Chico Lomã, o sul da Jazida Sul-Catarinense e a totalidade da jazida Santa Terezinha, que se encontram sob a cobertura de sedimentos Cenozóicos da Planície Costeira. A profundidade das camadas de carvão varia de nula (aflorante) a até cerca de 1.200 m. Na jazida de Santa Teresinha têm-se coberturas mínimas ao redor de 500 m, que chegam a até valores máximos de 800 m. As jazidas que têm sido mais intensamente explotadas são a Sul-Catarinense (SC), Charqueadas, Leão-Butiá, Capané e Candiota (RS), além de outras menores.

Os geólogos da CPRM inferem a presença de camadas de carvão a partir de perfurações *off-shore* principalmente na Jazida Sul-Catarinense e a leste de Santa Terezinha (RS). Sondagens sob lâmina d'água do oceano Atlântico, no futuro, poderão confirmar tais assertivas. A oeste de Santa Terezinha, sob o planalto basáltico, também pode ocorrer ampliação da jazida mediante a execução de novas sondagens.

Atualmente a produção do carvão brasileiro, de apenas 10 Mta (milhões de toneladas-ano) em carvão bruto (*run-of-mine* – rom), corresponde a 6 Mta de carvão vendável ou passível de consumo principalmente pelas usinas termoelétricas e está muito aquém do potencial das jazidas e da capacidade instalada das carboníferas.

O carvão nacional apenas contribui com 1% na matriz energética brasileira, enquanto a indústria siderúrgica importa cerca de 13 milhões de toneladas/ano de carvão estrangeiro, esta carreando cerca de US$ 650 milhões-ano, contribuindo com o desequilíbrio da balança comercial brasileira e o aumento da dependência externa.

A falta de escala produtiva da indústria do carvão tem outro grande competidor que afeta o mercado – o gás natural importado, transportado por gasodutos que praticamente atravessam os jazimentos carboníferos nos estados de Santa Catarina e do Rio Grande do Sul. A energia importada, entretanto, é cotada em Dólares, fator de insegurança comercial no País.

As perspectivas de retorno da participação do carvão brasileiro como insumo siderúrgico dependem das possibilidades de instalar minas nas jazidas de Chico Lomã–Morungava e Santa Terezinha (RS). Testes executados com testemunhos de sondagem de ambas as jazidas e com material bruto colhido de um poço exploratório em Chico Lomã mostraram que em ambas as jazidas o carvão bruto pode ser beneficiado para a obtenção de uma parcela de uso siderúrgico, com rendimento de duas a seis vezes maior que o usual nas atuais minas sul-catarinenses. Essa parcela tem baixos teores de enxofre, teores de cinzas entre 9% e 15% e propriedades coqueificantes similares.

A CPRM realizou entre 1984 e 1986 a integração de todos os projetos conjuntos do Departamento Nacional de Produção Mineral – DNPM e da CPRM realizados na pesquisa e prospecção de carvão nos estados de São Paulo, Paraná, Santa Catarina e Rio Grande do Sul no denominado Projeto "Borda Leste da Bacia do Paraná" (Aboarrage e Lopes, 1986). Este projeto sintetizou os dados levantados pelo Programa de Mobilização Energética – PME e os dados disponíveis de carboníferas e

Tabela XI.1 Recursos de carvão mineral "*in situ*" do Brasil, compreendendo reservas cubadas (medidas + indicadas + inferidas) e reservas marginais

Table XI.1 Brazil's mineral coal resources "in situ"; total reserves (measured + indicated + inferred) and marginal reserves

Estado	Jazida	Recursos (10^6 t)	% do Brasil
RS	Candiota	12.278	
	Santa Terezinha	4.283	
	Morungava/Chico Lomã	3.128	
	Charqueadas	2.993	
	Leão	2.439	
	Iruí	1.666	
	Capané	1.023	
	Outras	994	
	SOMA	28.804	89,25
SC	Sul - Catarinense	3.363	10,41
PR	Diversas	104	0,32
SP	Diversas	8	0,02
TOTAL		**32.279**	**100,00**

Fonte: DNPM/CPRM.

órgãos oficiais até então, integrando-os em 99 folhas na escala 1:100.000. Além da integração geológica, procedeu-se também a uma avaliação econômica dos recursos.

Informações adicionais sobre o tema abordado no item carvão mineral deste capítulo podem ser obtidas em diversos trabalhos técnicos, como, por exemplo, Stach (1975), Raposo e Matos (1981), Ponte Filho (1988), Borba *et al.* (1989), SECT/MESC (1990), César (1995), Binotto *et al.* (1999).

Histórico

O carvão mineral é o combustível, não-renovável, de maior abundância no globo terrestre, sendo conhecido pelo homem desde os primórdios da civilização. Registros romanos antigos mostram que populações da Gália já utilizavam o combustível muito antes de 80 a.C. Os saxões usavam carvão e turfa no aquecimento doméstico e iluminação em terras britânicas e os chineses já mineravam a rocha sedimentar (Minas de Chengi) muitos séculos antes de Cristo.

A maioria das cidades inglesas do interior desenvolveu-se em torno de minas de carvão. No fim do século XVIII a revolução industrial eclodiu na Europa a partir da Inglaterra, calcada na energia do carvão. Inúmeros inventos, entre eles bombas a pistão para esgotar água, engenhos e equipamentos variados, permitiram o avanço da mineração do carvão em minas subterrâneas. A criação da máquina a vapor em locomotivas, navios, guindastes, teares e sondas rotativas possibilitou a expansão colonial inglesa. Graças à energia do carvão foram rapidamente criados mecanismos de trocas e comercialização com a instalação de ferrovias em escala global.

No Brasil a primeira descoberta de carvão data de 1795, realizada pelo soldado português Vicente Wenceslau Gomes de Carvalho, conhecedor do carvão de pedra por ser ferreiro de profissão. A descoberta se deu na localidade de Curral Alto, na Estância do Leão (hoje município de Minas do Leão), no estado do Rio Grande do Sul. Também é desta época a descoberta do carvão mineral em Hulha Negra, próximo à cidade de Bagé, RS.

O carvão Catarinense foi descoberto em 1822 por tropeiros que desciam a serra do "12" rumo a Laguna. Após a descoberta foram enviadas à região inúmeras expedições com o fim de estudar a qualidade e a viabilidade econômica do carvão. Após várias tentativas frustradas de aproveitamento do energético, considerada a distância dos centros consumidores, em 1876 o Visconde de Barbacena deu início ao trabalho de mineração. A construção da ferrovia Dona Tereza Cristina, em 1884, facilitou o transporte do carvão da região produtora de Criciúma ao porto de Imbituba e dali alcançando centros consumidores no sudeste do País.

O consumo do carvão nacional aumentou consideravelmente por ocasião da Primeira Guerra Mundial, especialmente pela Viação Férrea, também abastecida pelo carvão do baixo Jacuí e Candiota–Hulha Negra (RS). No pós-guerra o carvão estrangeiro voltou a ocupar o mercado e as mineradoras gaúchas e catarinenses buscaram novos mercados para o seu carvão. No Rio Grande do Sul as carboníferas adquirem o controle de duas empresas em Porto Alegre (Fiat, Lux e Força e Luz), resultando na construção da primeira usina térmica a carvão – Usina do Gasômetro. Foi o primeiro passo à utilização do carvão na termoeletricidade. Porto Alegre, em 1928, contava com energia elétrica, bondes elétricos e gás encanado do carvão. Por não contar com filtros e precipitadores de cinzas, a poluição por particulados na época era intensa.

A mineração do carvão em Candiota e Hulha Negra data de 1863, quando atendia às fábricas e charqueadas da região. O carvão era garimpado em minas de encosta e às margens dos cursos d'água. Até 1920 o carvão do sul do Rio Grande abasteceu a Viação Férrea. Em 1958 exauriu-se a Mina dos Ratos, após 105 anos de produção desde sua descoberta em 1826 e a instalação da mina pelos ingleses em 1853.

Em 1931 e 1937 o Governo Getúlio Vargas estabeleceu leis que obrigavam o consumo de 10% e 20%, respectivamente, do carvão nacional. Tal fato, juntamente com a tensão européia e, mais tarde, a Segunda Guerra Mundial, proporcionou um significativo aumento da produção nacional, particularmente de Santa Catarina, da ordem de 540%. Após a Segunda Guerra, esta produção se manteve equilibrada devido à criação da Companhia Siderúrgica Nacional em Volta Redonda, no Rio de Janeiro, que surge como mercado consumidor da produção de carvão metalúrgico nacional.

Em 11 de junho de 1954, com a lei 1886, criou-se o Plano Nacional do Carvão cuja meta principal era aproveitar o potencial energético deste mineral, buscando o aprimoramento de sua lavra. Tal iniciativa apoiou os estudos de Augusto Batista Pereira, do engenheiro José do Patrocínio Motta e tantos outros pioneiros que, desde 1942, mostravam a viabilidade da termoeletricidade, o que levou à construção da usina térmica de Candiota I (20 Mw) em 1960, perto de Bagé, fator marcante para o desenvolvimento da indústria do carvão na região sul bem como para o progresso de regiões isoladas.

Assim, foram implantadas as termoelétricas de Butiá, Charqueadas e São Jerônimo no estado do Rio Grande do Sul e implementados os sistemas de beneficiamento do carvão catarinense (Lavador de Capivari/Lavacap de 1945) que produziam carvão metalúrgico e frações energéticas absorvidas pela térmica de Jorge Lacerda e indústrias variadas – indústrias cerâmicas, de alimentos, de papel-celulose, químicas, cimento, etc.

Ainda no baixo Jacuí, a grande mina de Charqueadas contribuiu com o fornecimento de carvão à usina termoelétrica do mesmo nome e a Aços Finos Piratini. A mina contava com o poço Otávio Reis, de 300 m de profundidade, cujas galerias cruzavam o leito do rio Jacuí. A mina de Charqueadas operou

até a década de 80, paralisada devido aos altos custos de extração do mineral. Charqueadas, operada pela Companhia de Pesquisa e Lavras Minerais – Copelmi , contava com avançado sistema de beneficiamento do carvão em meio-denso, produzindo combustível para a Aços Finos Piratini que, por seu turno, com tecnologia Lurgui, produzia aços especiais. Esta metalúrgica, com sua privatização, abandonou a tecnologia que utilizava carvão energético nacional para a produção de aços especiais.

A Comissão do Plano do Carvão Nacional – CPCAN, extinta em 1970, fora criada em 1953 e tinha como finalidade fomentar e amparar a atividade carbonífera. Foram criadas as cotas de produção vinculadas ao consumo, ou seja, cada carbonífera tinha sua reserva de mercado determinada pelo governo federal. A região experimentou notável crescimento populacional em movimentos migratórios de todo o sul do País, atraídos pela mineração.

Com os choques do petróleo (1973 e 1979) o governo voltou a valorizar os insumos energéticos nacionais, entre os quais o carvão. É promovida a mecanização das minas na década de setenta, aliada à abertura de novas minas, com o Programa de Mobilização Energética – PME, com financiamento do governo federal. Para incrementar o consumo do carvão nacional foi criado um programa de subsídios, que somados aos existentes viabilizaram a troca de sistemas de combustão para o uso do carvão energético, o que se traduziu na duplicação, entre 1980 e 1986, do consumo na indústria cimenteira. O PME viabilizou grandes minas mecanizadas e a ampliação das usinas termoelétricas mas, por outro lado, gerou distorções como financiamentos favorecidos para os empresários do setor e não concluiu projetos térmicos iniciados (Jacuí, Candiota III).

O programa de subsídios foi sendo modificado e, em 1988, cortado abruptamente pelo Governo Federal. Em 1990 o carvão, dentro do Programa de Competitividade Industrial, sofreu sua desregulamentação, ficando definidos o fim da obrigatoriedade do consumo do carvão nacional pelo setor estatal, a liberação dos preços, a liberação das importações e a desativação das minas da Companhia Siderúrgica Nacional – CSN, visando sua privatização. Como conseqüência imediata houve o fim do mercado para o carvão metalúrgico nacional na siderurgia (e a desestruturação econômica dos produtos beneficiados), totalmente substituído pelo produto importado de melhor qualidade, ainda que pago em Dólares. O lavador de Capivari foi desativado e houve substancial redução no volume transportado pela Estrada de Ferro D. Tereza Cristina, aliada à sensível queda no movimento do porto de Imbituba. Tal conjunto de fatores teve forte reflexo no nível de empregos na região sul-catarinense, como em toda a indústria do carvão nacional.

Grande perda para a comercialização do carvão foi a extinção da CAEBB – Companhia Auxiliar de Empresas Elétricas Brasileiras, que promovia a distribuição e transporte do energético utilizando subsídios, desde a mina até a porta da indústria consumidora.

Características Básicas dos Depósitos de Carvão Brasileiros

Nos períodos Carbonífero e Permiano no continente Gondwana no sul do Brasil, predominou a flora Gangamopteris – Glossopteris, responsável pela formação do carvão brasileiro, em período inter e pós-glacial, acumulado em bacia de relativa estabilidade cuja história geológica acabou por formar rochas combustíveis apropriadas ao aproveitamento energético. Tais características (flora e condicionamento da bacia) explicam as diferenças existentes entre os carvões de distintas bacias e diferentes histórias geológicas dos jazimentos mundiais. Por exemplo, a maioria das bacias carboníferas da América do Sul é de idade terciária, produto da evolução da flora que originou o carvão, da influência térmica e da história orogênica dos Andes.

A Bacia do Paraná é do tipo intracratônica, caracterizada pela relativa estabilidade tectônica, sujeita a movimentos epirogênicos lentos e de pequena amplitude. No seu formato geral, distribuído em mais de 1,7 milhão de quilômetros quadrados (Brasil, Paraguai, Argentina, Uruguai), pode ser considerada como possuindo margem do tipo rampa, isto é, com pequenas declividades no sentido do fundo da bacia. A conseqüência é que os estratos sedimentares tendem a possuir pequenas espessuras em relação à sua distribuição em área, incluídas as camadas de carvão. A subsidência pouco pronunciada propicia camadas de carvão verticalmente heterogêneas, pouco espessas e com baixa concentração de matéria orgânica, comparativamente a outras bacias, particularmente às de regiões orogênicas do Hemisfério Norte, e também com outras jazidas em bacias gondwânicas na África Meridional, Austrália e Índia.

Os sedimentos da Bacia do Paraná não sofreram dobramentos regionais após sua deposição, sendo sua conformação atual essencialmente originada por falhamentos e dobramentos de pequeno porte associados, além de basculamentos de pequena amplitude que movimentaram rochas pré-gondwânicas durante e após a deposição de rochas sedimentares. Na Jazida sul-catarinense encontram-se estruturas adiastróficas, do tipo falhas de crescimento, de pequenos rejeitos que diminuem em profundidade e se anulam quando o plano de falha se horizontaliza.

A avaliação geológico-econômica de camadas e jazidas de carvão mineral (Gomes, 2002) é feita em dois grupos de parâmetros: os geométricos e os de qualidade físico-química. Na geometria incluem-se espessuras, coberturas, extensão em área, encaixantes próximas, padrão estrutural, entre outros. Na qualidade físico-química tem-se o "*rank*" (ou grau

de evolução) e a "grade". O grau de evolução nas séries naturais de linhitos a antracitos é estudado por medidas do matérial volátil, poder calorífico e reflectância das vitrinitas.

No Brasil, o alto teor de cinzas bem como a composição petrográfica (impregnação das vitrinitas por material lipídico) induzem distorções nos resultados e dificuldades na comparação entre os carvões brasileiros e os de outros países. Apesar desta limitação, pode-se dizer que os carvões variam pelo "*rank*" num sentido geral de sudoeste para nordeste, de Betuminoso de Alto Volátil C (Candiota) até Betuminoso de Alto Volátil A (Sul-Catarinense).

Localmente, encontram-se carvões antracitosos, por efeito do aquecimento de intrusões básicas próximas (derrames de basaltos, diques de riolitos), como na área do Montanhão, na Jazida Sul-Catarinense. Os termos de classificação são os da *American Society for Testing and Materials* – ASTM, os mais utilizados internacionalmente. Tendo-se em conta que a profundidade de soterramento e o tempo de atuação da temperatura decorrente são insuficientes para terem determinado o atual estágio de evolução dos carvões brasileiros, com os gradientes geotérmicos hoje existentes, pode-se afirmar que as nossas camadas de carvão estiveram submetidas a temperaturas mais altas no passado geológico. Também se pode supor, com alguma segurança, que tais temperaturas estiveram relacionadas aos derrames de rochas vulcânicas Serra Geral onde fluxos de calor muito intenso estiveram ativos a partir das grandes geoclases, nos períodos Jurássico e Cretáceo.

Usa-se o termo "grade" para designar, genericamente, as relações matéria orgânica/matéria inorgânica numa camada de carvão, bem como as características da matéria inorgânica presente. A lavabilidade é o parâmetro mais importante do "grade" dos carvões, expressando as possibilidades de separação entre matéria orgânica e matéria inorgânica por meio de beneficiamento (lavadores, *jigs*, meio-denso, centrifugadores). A matéria inorgânica é representada, basicamente, pelos teores de cinzas e de enxofre.

As camadas de carvão no Brasil caracterizam-se pela heterogeneidade na estrutura vertical e horizontal. Existem variações no perfil de cada camada, intercalando-se leitos mais ou menos ricos em matéria orgânica (principalmente vitrênio) com outros com pouca ou nenhuma matéria orgânica (siltitos, argilitos). Estas variações também são marcantes de camada a camada, dentro da mesma jazida, e de jazida para jazida, na medida das camadas que aí ocorrem; e dentro da mesma camada, também no sentido horizontal, quando são notáveis variações laterais graduais. Outra generalização que pode ser feita é a que se refere ao conteúdo, quase sempre alto, de matéria inorgânica em nossos carvões. Tal observação se deve tanto à heterogeneidade vertical quanto à íntima associação, a nível microscópico, da matéria orgânica e inorgânica em muitos leitos e camadas de carvão. Além da evolução geotectônica da Bacia do Paraná, como fator geológico primário, muitos fatores locais atuaram e foram determinantes para as variações encontradas.

Sob o ponto de vista dos sistemas deposicionais, as camadas de carvão foram depositadas em ambiente de lagunas, atrás de barreiras, numa costa dominada por ondas com influência das marés. Os teores de enxofre altos em muitas camadas foram propiciados pela ingressão de águas marinhas nas turfeiras, por rompimento ou destruição das barreiras. Algumas camadas e leitos de carvão foram depositados em planícies deltaicas ou aluviais, ou mesmo em leques aluviais, e são de importância secundária.

Os conhecimentos petrográficos acumulados pelas equipes da Fundação de Ciências Tecnológicas do Rio Grande do Sul – CIENTEC e da Universidade Federal do Rio Grande do Sul – UFRGS sobre nossos carvões identificam-nos como Carvões Húmicos, oriundos de material lenho-celulósico (vegetais superiores), em que o grupo de macerais da vitrinita é o predominante. Entretanto, são identificados conteúdos importantes de macerais do grupo da inertinita, entre 20% e 30% na maioria das amostras, mas ultrapassando os 50% em alguns casos. Esta é uma característica que os carvões gondwânicos de todos os continentes atuais também apresentam com freqüência. Mais específicos são os teores relativamente altos do grupo da exinita, especialmente alginita, em diversas camadas, o que significa uma tendência ao fácies sapropélico, isto é, com matéria orgânica plantônica depositada e preservada em quantidades significativas em algumas turfeiras originais.

O método de cálculo de recursos e reservas, utilizado pela CPRM, é uniforme para as jazidas por ela pesquisadas e segue parâmetros internacionais, em especial o sistema *United States Geological Survey/United States Bureau of Mins* – USGS/USBM (Ferreira, 1982). O mesmo não acontece com muitas empresas que são ativas na pesquisa e lavra de carvão, e a adoção de diferentes métodos de cubagem causa dificuldades na comparação direta dos dados de reservas. Os números da cubagem dos recursos referem-se a Carvão na Camada (CC), ou seja, o que foi descrito visualmente como carvão, não computadas as intercalações de estéril que compõem a camada total.

Os melhores critérios comparativos entre diferentes camadas de carvão, tendo-se em vista parâmetros e qualidades tão díspares (geométricas, "*rank*", "grade"), seriam o uso de valores equalizados em Tec (toneladas equivalentes de carvão) ou Tep (toneladas equivalentes de petróleo).

Para uma completa classificação do carvão, são realizados ensaios e análises segundo normas (ASTM, ABNT) laboratoriais:

- Análise imediata – define umidade total, higroscópica, umidade de retenção, cinzas (matéria mineral inerte), matérias voláteis, carbono fixo.
- Análise elementar – define a porcentagem de carbono,

hidrogênio, enxofre total, enxofre pirítico, enxofre orgânico, enxofre sulfático, oxigênio+halogênios.

- Poder calorífico (kcal/kg) – superior e inferior.
- Dilatometria: ponto de amolecimento (ºC), máxima e mínima contração.
- Fusibilidade das cinzas: ponto de amolecimento, ponto de fusão, ponto de liquidez.
- FSI (*free swelling index* – índice de inchamento livre): define carvões energéticos e coqueificáveis (siderúrgicos).
- Análise petrográfica (%): vitrinita, exinita, huminita, leptinita, inertinita, (macerais e grupos) matéria mineral, poder refletor.
- Composição química das cinzas: óxido de silício, alumínio, ferro, cálcio, fósforo, manganês, sódio, potássio, perda ao fogo, pH das cinzas.
- Ensaios de densidade nas frações do carvão.
- Curvas de lavabilidade (gráficos de Mayer).
- Curvas granulométricas.
- Reatividade do carvão.
- Ensaios de beneficiamento.

Tais métodos analíticos, usuais na indústria do carvão, permitem definir com precisão a qualidade e indicar o melhor aproveitamento econômico/beneficiamento de suas frações, segundo as necessidades da indústria consumidora do combustível (Fig. XI.4).

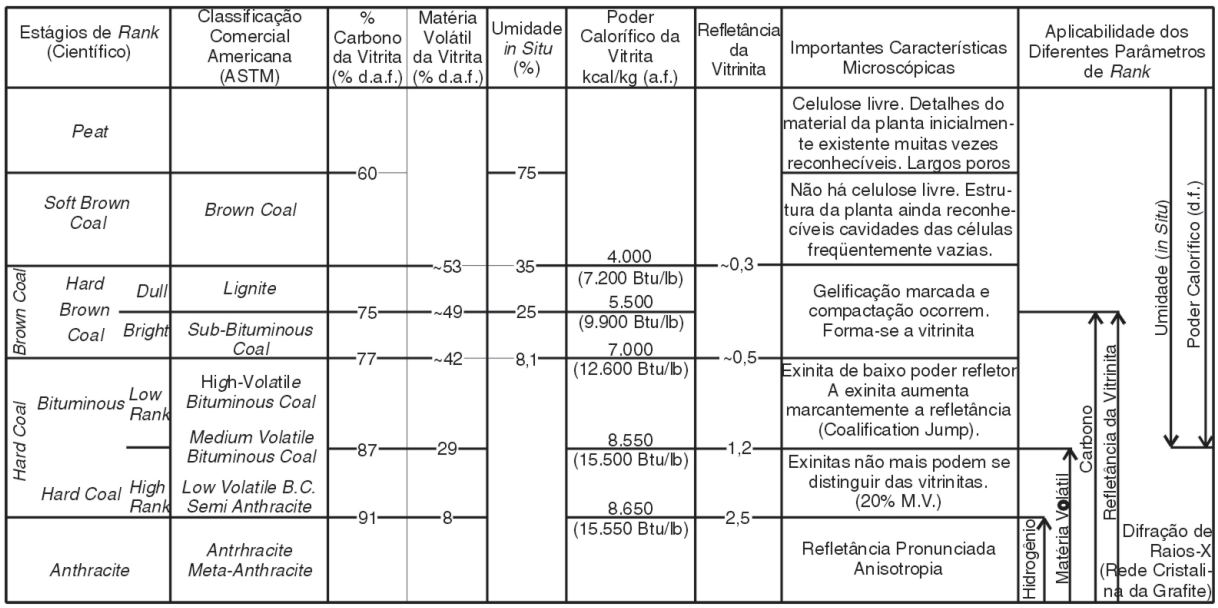
Pode-se resumir que a maioria dos carvões gaúchos, segundo a classificação ASTM, é energética; classe Betuminosos de Alto Volátil C, não coqueificável (Candiota e Leão). O carvão de Chico–Lomã tem categoria evolutiva mais elevada, mas está na categoria Carvão Betuminoso Alto Volátil C, com poder refletor das vitrinitas entre 0,6% e 0,7%. Os carvões de Morungava, Santa Terezinha, Chico-Lomã e Barro Branco têm propriedades coqueificantes. Os carvões sul-catarinenses estão enquadrados em Carvão Betuminoso Alto Volátil A (Fig. XI.5).

As características básicas dos depósitos de carvão brasileiros, conforme Gomes *et al.* (1998), podem ser resumidas como se segue:

Jazida de Candiota (RS)

É a maior jazida de carvão do país, com cerca de 38% (12 bilhões de toneladas) dos recursos totais brasileiros. A área delimitada é da ordem de 2.000 km², com 17 camadas, das quais a camada Candiota é a mais importante. A espessura média da camada total é de 4,5 m, localmente ultrapassando os seis metros. É a única em lavra e responde por 63% dos recursos da jazida. Junto com as camadas Candiota Inferior 1 e 2 (CI_1 e CI_2), contém 90% das reservas (Fig. XI.6, XI.7 e XI.8).

Além da espessura, outro fator decisivo na economicidade da lavra da camada é a pequena cobertura (18%), apresentando coberturas menores que 50 m e possibilitando a lavra a céu aberto. O principal limitante é o seu "grade", expresso não só pelo teor de cinzas de 51%–54% para o rom (carvão bruto, *i.e. Run of Mine*) mas, principalmente, pela



Fonte: Luís Edmundo Soledade e Aydyn P. Walkoff (CSN) *in:* Coqueificação - Ciclo de Palestras sobre Carvão, Porto Alegre, 1976.
d.a.f. = determinação em base seca, livre de cinzas ("ash free")
Observação: a classificação comercial americana é utilizada no mercado internacional do combustível.

Organ.:A.J.P. Gomes (2001)

Figura XI.4 – Parâmetros de *Rank* usados nas Classificações dos Carvões

Figure XI.4 – Rank parameters used in coal classification

Quadro Características do carvão metalúrgico de Santa Catarina recebido na USIMINAS

ANÁLISE IMEDIATA (%, BASE SECA)

CINZA	17,0
MATÉRIA VOLÁTIL	33,0
ENXOFRE TOTAL	1,59
PIRÍTICO	0,76
ORGÂNICO	0,83
SULFÁTICO	< 0,02

ANÁLISE PETROGRÁFICA (%, EM VOLUME)

VITRINITA	54
EXINITA	13
SEMI-FUSINITA	9
INERTINITA	15
M. MINERAL	9

ENSAIOS DIVERSOS

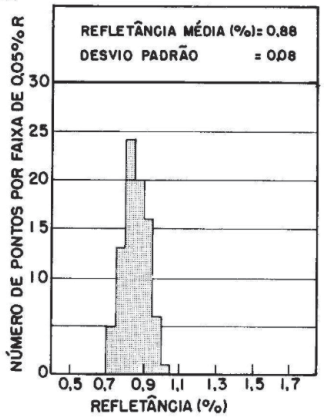
PODER CALORÍFICO SUPERIOR (kcal/kg)	7084
ÍNDICE HARDGROVE (%)	45,0
ÍNDICE ROGA (%)	79,2
ÍNDICE DE LIVRE EXPANSÃO (FSI)	4,5
ÍNDICE DE AGLUTINAÇÃO DE INERTES (%)	90,0
CONTRAÇÃO AUDIBERT - ARNU (%)	23,0
DILATAÇÃO AUDIBERT - ARNU (%)	12 5

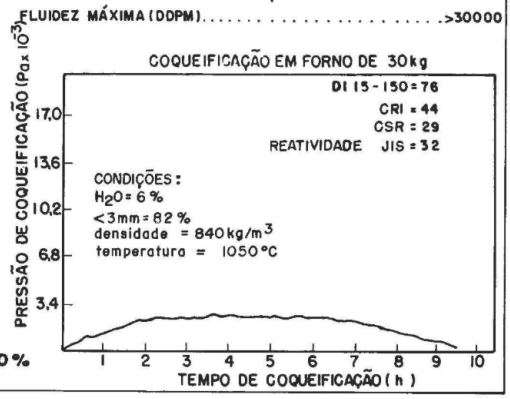
COMPOSIÇÃO QUÍMICA DA CINZA (%, BASE SECA)

SiO_2	54,90
Al_2O_3	26,86
Fe_2O_3	8,35
TiO_2	2,12
CaO	1,92
MgO	0,79
Na_2O	0,31
K_2O	3,10
SO_3	1,27
P_2O_5	0,16
MnO	0,06
ZnO	0,16

PLASTOMETRIA GIESELER

TEMPERATURA DE AMOLECIMENTO (°C)	377
TEMPERATURA DE MÁXIMA FLUIDEZ (°C)	440-453
TEMPERATURA DE RESSOLIDIFICAÇÃO (°C)	493
FLUIDEZ MÁXIMA (DDPM)	>30000





CONTRAÇÃO (FORNO BASE AQUECIDA - ASTM D 2014, 2 % H_2O) = 30 %

Figura XI.5 – Características do Carvão Metalúrgico de Santa Catarina recebido da USIMINAS (Borba *et al.* 1989)

Figure XI.5 – Characteristics of Santa Catarina's Metallurgical coal received by USIMINAS (Borba *et al.* 1989)

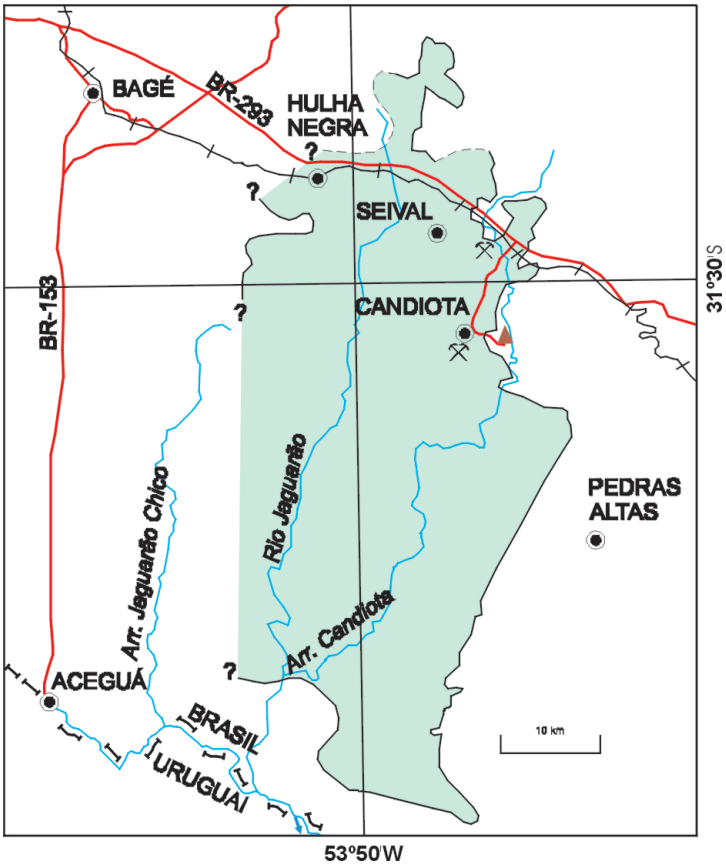


Figura XI.6 – Jazida de Candiota (RS). Modificado de Süffert (1997)

Figure XI.6 – Candiota deposit (RS). Modified from Süffert (1997)

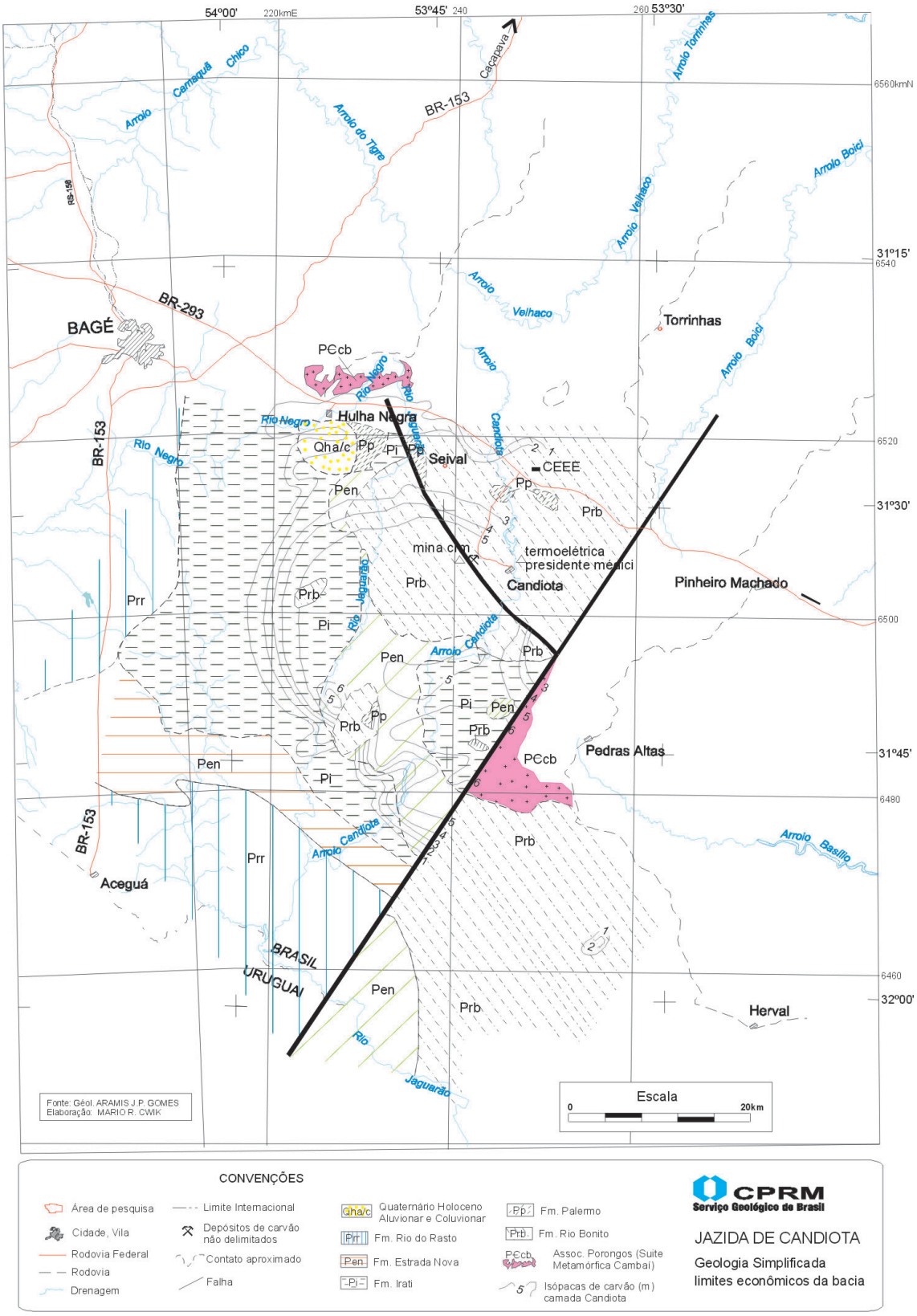


Figura XI.7 – Geologia Simplificada e Limites Econômicos da Jazida de Candiota (RS). Modificado de Gomes (2002).

Figure XI.7 – Simplified geology and economic limits of Candiota Deposit (RS). Modified from Gomes (2002).

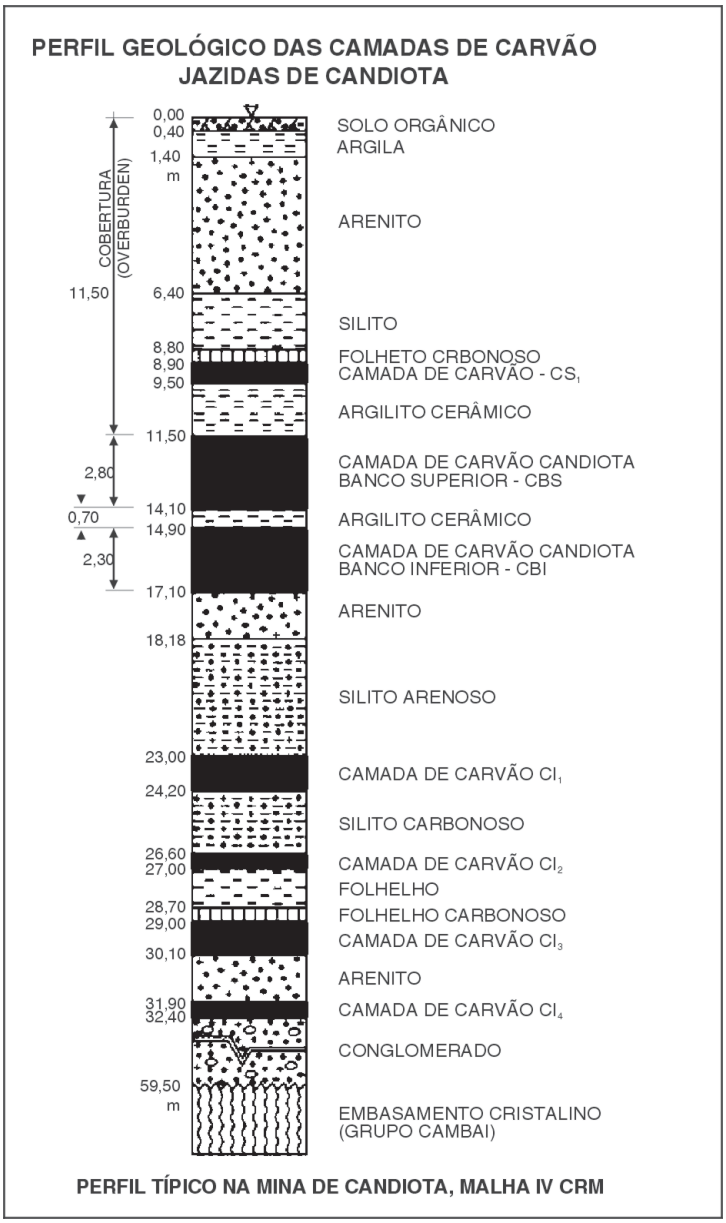


Figura XI.8 – Perfil Geológico das Camadas de Carvão na Jazida de Candiota na área da Mina Candiota

Figure XI.8 – Geological profile of coal layers of Candiota deposit in the area of Candiota Mine

lavabilidade difícil, obtendo-se rendimentos de 30% a 52% para produto final de carvão (35% de cinzas e enxofre de 1%). Para o Carvão de Candiota, indica-se beneficiamento por lavadores em meio denso. Este carvão é classificado (ASTM) como "Betuminoso de Alto Volátil C" não coqueificável (energético), com reflectância das vitrinitas entre 0,45% e 0,51% e umidade de equilíbrio de 16% a 18%.

A mina de Candiota da Companhia Riograndense de Mineração – CRM, com capacidade de 2 Mta constitui-se na maior mina do Brasil a céu aberto. Produz carvão bruto, britado, consumido (cerca de 200 mil toneladas-mês) pela Usina Termoelétrica presidente Médici (CGTEE – Companhia de Geração Térmica de Energia Elétrica, RS) gerando 446 MW em sistema pulverizado.

O carvão da Mina de Candiota apresenta os mais baixos custos de energia do mundo. Em setembro de 2000 o sistema elétrico pagava cerca de US$ 9/t (R$ 16,13/t) pelo carvão energético – CE-3300 de Candiota para abastecer a usina termoelétrica. A este preço, o custo equivale a cerca de US$ 2,7/Gcal ou a US$ 0,688/MBtu (1 Btu = 0,252 kcal).

Para efeito comparativo, o preço do gás natural da Bolívia é de US$ 2,8/MBtu ou US$ 11,10/Gcal, enquanto o gás argentino (Uruguaiana) é de US$ 2,20/MBtu ou US$ 8,70/Gcal (Fonte MME/SNE, 1997). Como no caso das demais jazidas de carvão brasileiras, a energia aí gerada tem seus custos e preços na moeda do país e não carreia divisas para o exterior, favorecendo ao aproveitamento de tão importante reserva de combustível, gerando empregos e desenvolvimento regional.

A potencialidade da jazida de Candiota é tal que a região foi considerada "pólo energético", tendo já instalado 446 MW e projetado a construção de termoelétrica de Candiota III (350 MW). Inicialmente Candiota III foi planejada com seis unidades de 350 MW, totalizando 2100 MW. Hoje, este projeto Candiota III sofreu transformações conceituais que o reduziram a apenas uma unidade de 350 MW. Na mesma região está prevista também a construção da térmica de Seival, com 500 MW, objeto de projeto da COPELMI.

A mina de Candiota realiza importante trabalho de regeneração ambiental e importantes medidas mitigadoras e preservacionistas do meio ambiente, tais como: a separação e reposição do solo orgânico, o preenchimento de bacias seladas com rejeitos e cinzas da termoelétrica, a modelagem da topografia e revegetação da zona minerada, com notável sucesso paisagístico.

Jazida do Capané (RS)

Possui formato alongado segundo sudoeste-nordeste, ocupando uma área de cerca de 600 km² (Fig. XI.9). A camada Capanezinho é a principal camada na porção sul da jazida, tanto pela sua qualidade quanto por ser lavrável a céu aberto. As camadas Jeribá e Triângulo têm maior quantidade de recursos, mas estão sob maior cobertura e seus carvões têm "grade" inferior. A camada Capanezinho vem sendo lavrada e beneficiada pela Companhia Palermo, que vende carvão com 35% a 45% de cinzas e enxofre inferior a 0,6%. O carvão é classificado como "Betuminoso de alto Volátil C; não-coqueificável". A reflectância das vitrinitas é de 0,56%. Os recursos totais são de 1.010 Mt, dos quais 859 Mt na camada Jaribá e 86 Mt na camada Capanezinho.

Jazida do Iruí (RS)

Como a anterior, tem formato alongado no sentido sudoeste-nordeste com área conhecida de cerca de 850 km² (Fig. XI.9). A camada Iruí Superior é de longe a mais importante, contendo 1.442 Mt do total de 1.665 Mt dos recursos da jazida. Sob cobertura inferior a 50 m foram avaliados 178 Mt nesta camada.

A espessura da camada Iruí Superior varia de 1,5 a 2,0 m nas porções mais relevantes do depósito. Seu rendimento relativamente baixo é inferior a 40%, com 35% de cinzas. O enxofre está ao redor de 0,3%, para este teor de cinzas. Foi lavrada pela Companhia Riograndense de Mineração na sua parte sul, mina hoje paralisada. Classifica-se como "Betuminoso de Alto Volátil C, não coqueificável", com reflectância das vitrinitas de 0,49%. Há presença de inertinita entre 22% e 33% em algumas amostras estudadas.

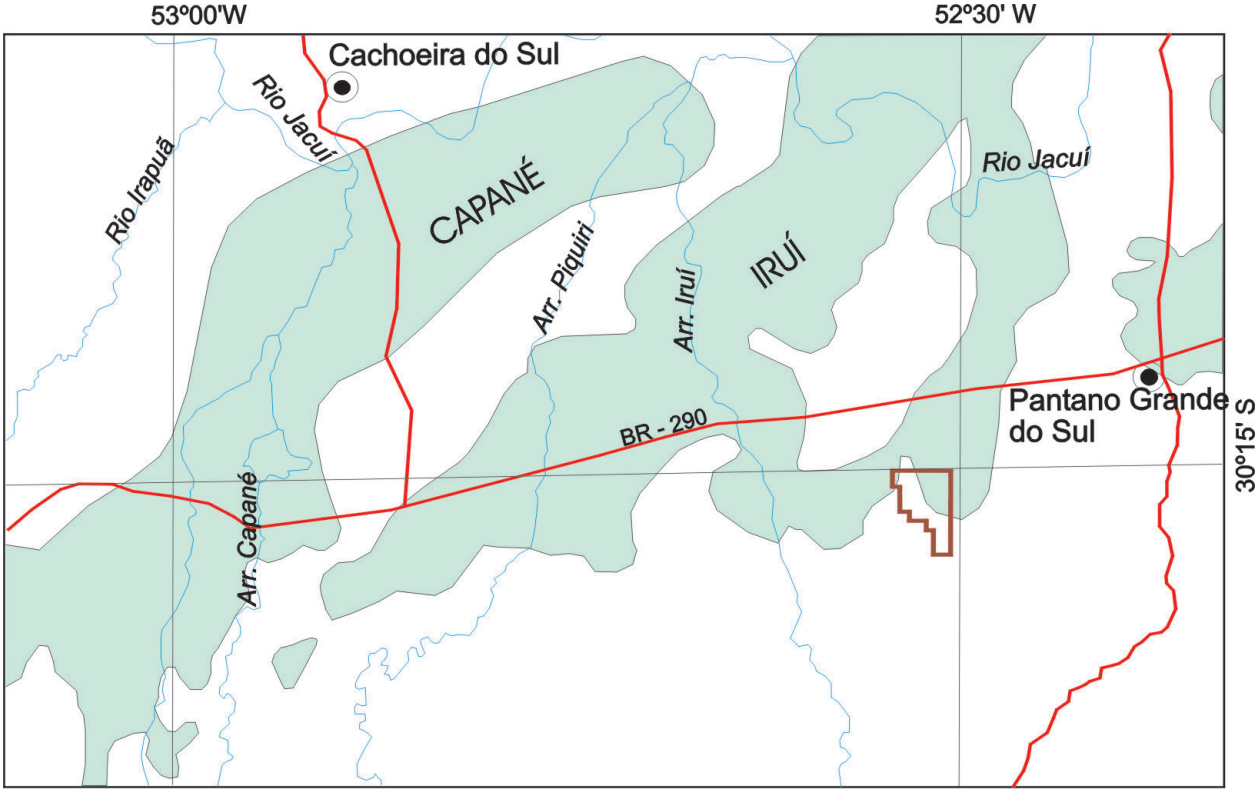


Figura XI. 9 – Jazidas Capané e Iruí (RS). Modificado de Süffert (1997).Figure XI.9 – Capané and Iruí deposits (RS). Modified from Süffert (1997)

Jazida do Leão (RS)

Tendo sido uma jazida bastante lavrada há muitas décadas, existem muitas denominações locais, tais como Recreio, Butiá Leste e outros (Fig. XI.10), mas que na verdade são partes claramente identificadas como pertencentes ao mesmo depósito. Sua extensão conhecida é de aproximadamente 1.070 km². Ocorrem sete camadas com boa continuidade lateral, das quais a mais importante é a I, com 709 Mt de um total de 2.442 Mt no depósito. As camadas S2, S3, I3 e I4 também contêm quantidades de recursos significativos, entre 250 e 600 Mt cada uma. Nos setores lavrados a céu aberto pela COPELMI outras denominações são utilizadas para as mesmas camadas.

Os blocos sob pequenas coberturas estão quase esgotados nesta jazida, restando cerca de 10 Mt que continuam sob lavra intensiva pela COPELMI. A maior parte dos recursos encontra-se à profundidade entre 50 e 300 m, e uma parte significativa entre 300 e 800 m. A lavra a céu aberto usualmente recupera as camadas S2, S3 e I. Na mina subterrânea do Leão, da CRM, a camada I é a única visada, assim como na chamada Mina Leão II, com suas aberturas de acesso e desenvolvimento prontas há vários anos, mas sem nunca ter produzido.

A camada I apresenta espessuras médias ao redor de 1,80 m e tem um dos melhores "grade" entre as camadas brasileiras, com mais de 50% de rendimento para carvão com 35% de cinzas e enxofre com 0,6%. É classificado como "Betuminoso de Alto Volátil C, fracamente coqueificante", em algumas amostras. A reflectância das vitrinitas está por volta de 0,5%. Foram encontrados alguns resultados altos (~15%) para o grupo da exinita, mostrando uma certa tendência ao fácies sapropélico, e para grupo da inertinita, com valores entre 20 e 28%.

Jazida de Charqueadas (RS)

Como a anterior, possui denominações locais, como Santa Rita e Guaíba, mas que tem continuidade física clara com Charqueadas. Sua área conhecida é de 800 km² e ao norte seus limites são pouco definidos, mas já sob coberturas de algumas centenas de metros. As camadas são seis, mas apenas três com recursos representativos, quais sejam: a I1F com 1.334 Mt; a I2B com 975 Mt; e a SB com 648 Mt. O total do depósito é de 2.994 Mt. Acamada I1F foi minerada em sub-superfície durante algumas décadas, pela COPELMI, estando atualmente desativada.

O rendimento da Camada I1F é baixo, ao redor de 35% para carvão com 35% de cinzas, mas também com baixo enxofre. Os dados disponíveis para as camadas SB e I2B permitem prever rendimento sensivelmente superior, quando forem lavradas e beneficiadas. A camada I1F classifica-se pelo "*rank*" como "Betuminoso de Alto Volátil C, fracamente coqueificável". A reflectância das vitrinitas apresenta resultados

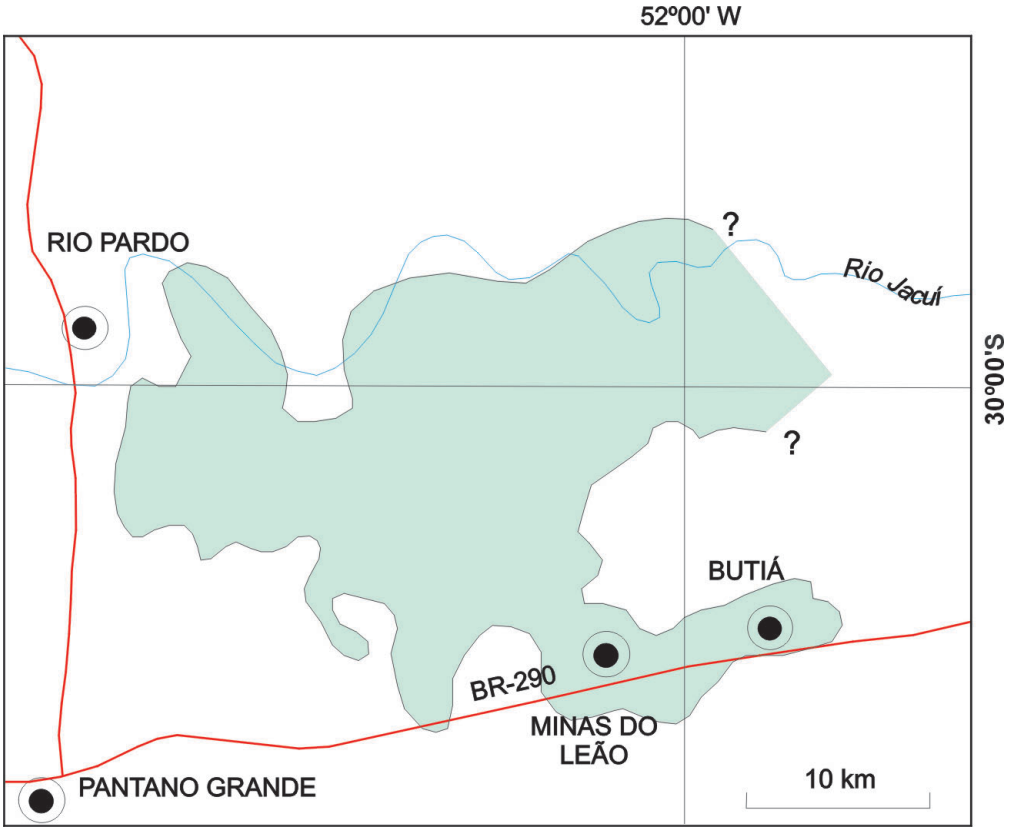


Figura XI.10 – Jazida do Leão (RS). Modificado de Süffert (1997)

Figure XI,10 – Leão deposit (RS). Modified from Süffert (1997)

oscilantes entre 0,46 e 0,72%, certamente por impregnação contaminante de algumas vitrinitas medidas. Os grupos da inertinita e exinita também apresentam resultados altos para carvões húmicos, em algumas amostras analisadas.

Jazida de Morungava–Chico Lomã (RS)

Situa-se na região nordeste do estado, compreendendo uma área de 1.200 km², alongada leste–oeste (Fig. XI.11). Ocorrem até sete camadas, mas destacam-se três: M/CL2, M/CL6 e, especialmente, a M/CL4. Foi a primeira jazida descoberta de carvão com propriedades coqueificantes no RS, em meados da década de 70. Possui coberturas inferiores a 50 m no setor sudoeste e entre 50 e 300 m na região central. Coberturas superiores a 300 m ocorrem a noroeste e oeste. Os recursos totais somam 3.092 Mt, dos quais 1.104 Mt na M/CL4 e 1.169 Mt na M/CL6. A camada M/CL4 é mais importante pelo seu "grade", permitindo a separação, por beneficiamento, em três produtos, com os seguintes rendimentos: até 24% com 15% de cinzas e 0,7% de enxofre; 35% com 40% de cinzas e o estéril.

Os carvões classificam-se como "betuminosos de Alto Volátil B, coqueificantes". A reflectância das vitrinitas é de 0,60 a 0,65%. Os teores de exinita estão entre 10 e 18% na maioria das determinações realizadas. Esta jazida nunca foi minerada, e seu potencial deve-se à possibilidade de obter uma fração nobre, com baixo teor de cinzas e enxofre, que poderá ser utilizada em misturas com outros carvões, para produção de coque na indústria do aço.

Jazida de Santa Terezinha (RS)

Situada na região nordeste do estado, com uma área superior a 1.000 km², tem os limites oeste, norte e sul razoavelmente bem definidos. Sua extensão para noroeste, sob cobertura dos derrames basálticos, e para leste, na plataforma continental, é ainda desconhecida. Foi descoberta em 1979, pelas equipes da CPRM, pela combinação de critérios geológicos, métodos geofísicos e furos de sonda, já que não aflora em ponto algum, estando sob coberturas mínimas de 500 m, ao sul.

Das sete camadas, as mais importantes são a ST6, ST5 e ST4, esta última a mais relevante. Os recursos totais conhecidos são 4.283 Mt, sendo 1.863 Mt, na camada ST4. A importância desta jazida está nas propriedades coqueificantes de seus carvões e no "grade" da camada ST4, o melhor entre as camadas brasileiras. Com espessura média em torno de 2,30 m, tem os seguintes rendimentos teóricos, para uma separação em três produtos, por beneficiamento: 60% com 15% de cinzas e 1,0% de enxofre; 20% com 40% de cinzas e o estéril.

A classificação do carvão é "Betuminoso de Alto Volátil B, coqueificante" e, tal como Morungava–Chico Lomã, sua

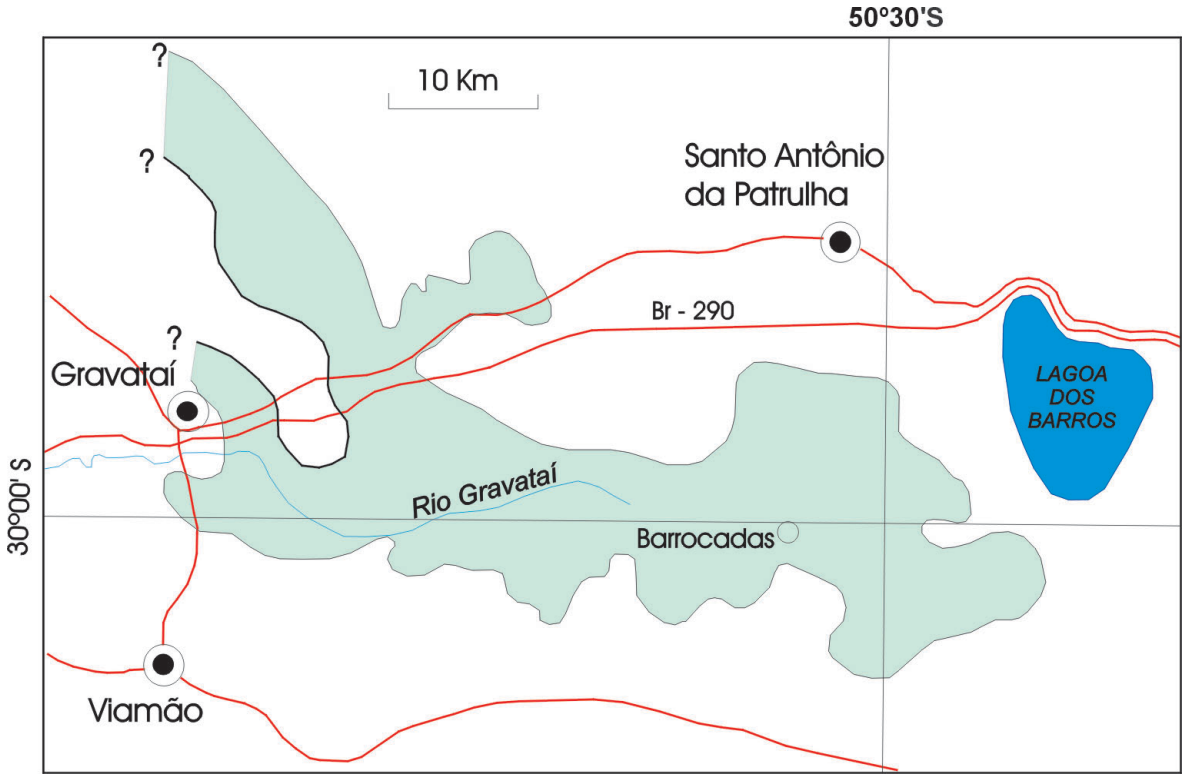


Figura XI.11 – Jazida Morungava – Chico Lomã (RS). Modificado de Süffert (1997)

Figure XI.11 – Morungava deposit – Chico Lomã (RS). Modified from Süffert (1997)

importância potencial está no uso da fração nobre em misturas para coqueificação, além do aproveitamento de produto intermediário para termoeletricidade e outros usos.

Jazida Sul-Catarinense (SC)

Este é o depósito de carvão brasileiro que tem sido mais intensamente explotado nas últimas décadas (Fig. XI.12 e XI.13), devido às propriedades coqueificantes do carvão da Camada Barro Branco (fração para indústria de coque) e o consumo nas plantas termoelétricas de Tubarão, SC.

Em planta esta jazida possui a forma de um arco com convexidade apontando para leste. Seus limites sul–sudeste estão indeterminados, sendo que sondagens sob lâmina d'água na plataforma continental certamente constatariam a continuidade das camadas em sub-superfície. A porção norte do arco é aquela que tem sido intensamente pesquisada e explotada, sendo o que usualmente é conhecido como a Jazida Sul-Catarinense. Tem um comprimento que ultrapassa os 85 km e uma largura variável entre 5 e 20 km. Dez camadas de carvão ocorrem neste depósito, mas apenas duas têm importância econômica: Barro Branco e Bonito. Muito localmente, a Camada Irapuá tem sido objeto de lavra. A Camada Barro Branco possui espessuras médias nas áreas mineradas, em torno de 1,60 m. A Camada Bonito, mais espessa, mas com "grade" inferior à Barro Branco, tem sido lavrada em sub-superfície há apenas alguns anos, na parte norte da jazida. Os recursos totais da Jazida atingem 4.288 Mt, dos quais mais de 70% nas camadas Barro Branco (1.323 Mt) e Bonito (1.843 Mt). As coberturas vão de camadas aflorantes até mais de 800 m. Os setores lavráveis a céu aberto estão quase esgotados para a Camada Barro Branco, por questões econômicas e ambientais.

O carvão da Camada Barro Branco é classificado pelo "*rank*" como "Betuminoso de Alto Volátil A". Na região da Jazida Sul-Catarinense existem muitas intrusões de diabásio, diques e soleiras, que afetam as camadas de carvão, estas podendo chegar ao grau de antracito. Numa área conhecida como "Montanhão", o carvão é minerado para produção de antracito, com valores de venda mais elevados que os produtos usuais da Jazida.

A Camada Barro Branco contém teores expressivos de macerais do grupo da exinita, podendo-se considerar que seu carvão é transicional ao fácies sapropélico. Este fato, além de sua posição no "*rank*", explica seus altos índices de capacidade de coqueificação. Os teores de enxofre não são altos (1 a 3%) nos produtos beneficiados, e maiores ao norte da jazida.

Como a suspensão da demanda por carvão metalúrgico, no início da década de noventa, o consumidor quase exclusivo passou a ser a termoeletricidade. Produz-se carvão com 4.500 cal/g, por beneficiamento próximo às minas, com rendimento

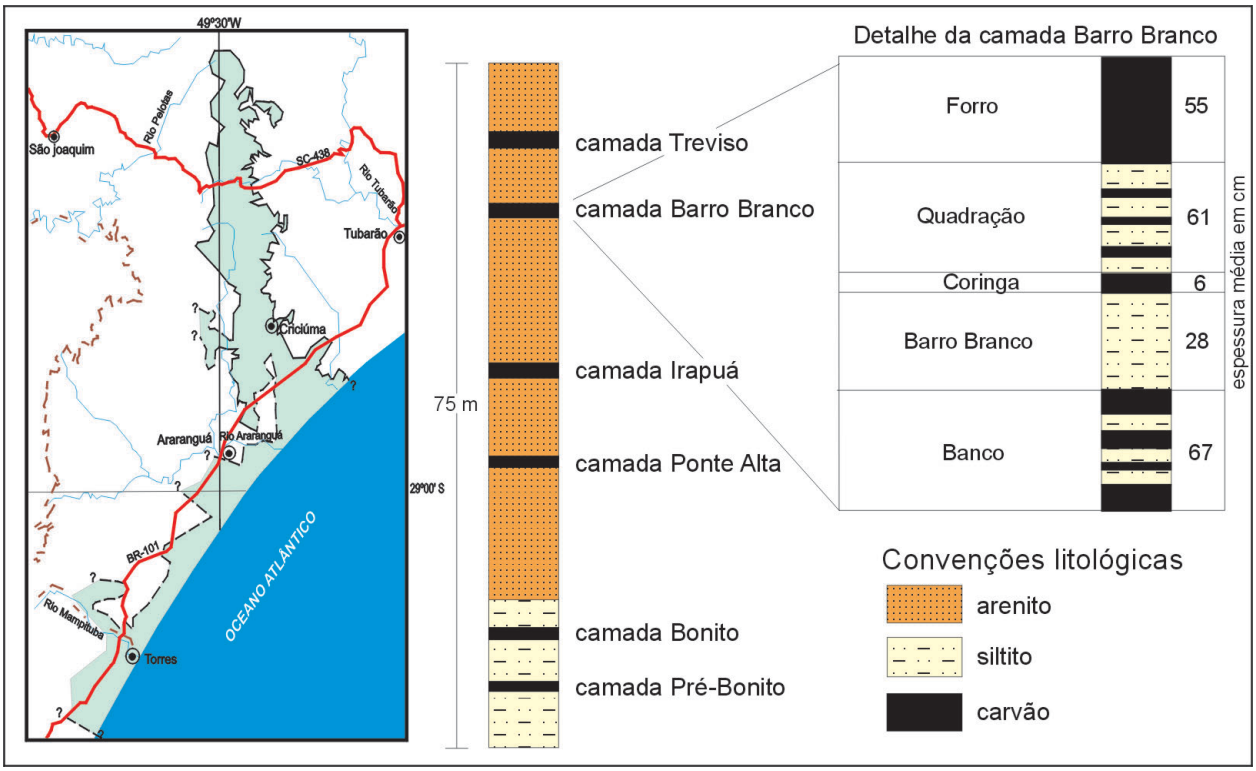


Figura XI.12 – Jazida Sul-Catarinense (SC) com detalhe do pacote carbonoso e destaque para a camada de carvão Barro Branco. Modificado de Süffert (1997)

Figure XI.12 – Sul-Catarinense deposit (SC) with details of the carbon package stressing the Barro Branco coal layer. Modified from Süffert (1997)

(a)

Figura XI.13 – (a) Mina Morozini, lavra de carvão a céu aberto na Jazida Sul-Catarinense. Foto: Ricardo da C. Lopes. (b): Mineração Rio Deserto, instalações de superfície de mina subterrânea de carvão na Jazida Sul-Catarinense. Foto: SIECESC

Figure XI.13 – (a) Morozini Mine, open pit coal mining in the Sul-Catarinense deposit. Photo: Ricardo da C. Lopes. (b): Rio Deserto Mining, surface facilities of underground coal mine in Sul-Catarinense deposit. Photo: SIECESC

(b)

de 30 a 35% sobre o *rom*. Outros mercados menores são os finos de britagem, para coque de fundição, e pequenas quantidades para diversos setores. Atualmente dez unidades mineiras encontram-se em operação, das quais três a céu aberto e as demais em subsuperfície.

Jazidas Menores

Além das oito jazidas de grande porte, existe uma série de pequenos jazimentos, quase todos situados nas proximidades da borda atual da bacia, vários dos quais estão ou estiveram em lavra, salientando-se as pequenas coberturas que a maioria apresenta sobre as camadas de carvão. Destes, destaca-se o carvão do norte do Paraná, que ocorre em delgadas camadas (0,40 m/2,00 m) mas com alto poder calorífico (6.000 kcal/kg) e elevado enxofre (8%).

Como se vê, a soma de todos os recursos das jazidas menores não atinge sequer um terço da Jazida do Capané, a que contém menos carvão entre as 8 grandes. Mesmo assim, alguns destes depósitos têm tido importância localizada como fontes de carvão.

Denominação	Reservas
Sapopema, norte do Paraná	64 Mt
Cambui, norte do Paraná	22,7 Mt
Gravataí Oeste, a oeste de Morungava – Chico Lomã	38,9 Mt
Faxinal, sul de Charqueadas	10,7 Mt
Água Boa, sul do Leão	6,1 Mt
Cerro do Roque, sul do Leão	22 Mt
Arroio dos ratos, entre Charqueadas e Leão	esgotada
Pantano Grande, entre Leão e Irui	148 Mt
São Sepé, a oeste de Capané	13,2 Mt
Total das reservas	325,6 Mt

Carvão Brasileiro: Características e Propriedades

Carvões são rochas sólidas sedimentares caracterizadas por um alto teor de carbono (55–95%), livre ou combinado. São diretamente combustíveis em presença do oxigênio do ar e as cinzas resultantes da combustão são pulverulentas e

constituídas por matérias minerais predominantemente de sílica e alumínio (Gomes, 2002). O grupo dos carvões compreende as turfas, linhitos, hulhas e antracitos. Tais rochas fazem parte dos combustíveis minerais (carvões, folhelhos betuminosos e os petróleos ou betumes).

De acordo com Gomes (*op. cit.*), carvões se formam a partir do soterramento continuado de vegetais superiores e de resíduos vegetais terrestres (troncos, galhos, arbustos, folhas, sementes, polens, celulose) cuja deposição, ao longo do tempo geológico (milhões de anos), sofreu diagênese e compactação na bacia sedimentar, transformações devidas a pressões e temperaturas, concentrando carbono e hidrogênio sob a forma de rochas estratificadas. Após milhões de anos os jazimentos carbonosos podem aflorar à superfície ou situarem-se a profundidades médias (100–200 m) e elevadas (300–600 m).

Quanto à origem vegetal, o carvão é dito húmico quando formado a partir de vegetais superiores de natureza continental ou paludal, ou sapropélico se relacionado a algas marinhas (Fig. XI.14). A principal distinção entre os petróleos, os folhelhos betuminosos e os carvões deve-se à origem: os primeiros são combustíveis formados a partir de organismos inferiores, sobretudo aquáticos (plâncton) cuja matéria orgânica com alto teor em gordura e proteínas sofreu a betuminização; enquanto os carvões húmicos são constituídos essencialmente por vegetais terrestres superiores, com alto teor de hidratos de carbono (Fig. XI.15).

Os petróleos e folhelhos betuminosos, como os folhelhos da formação Irati, foram derivados de rochas iniciais sapropeles que se transformaram em saprocóis ou sapropelitos (Potonié, 1908). Os petróleos são essencialmente hidrocarbonetos gasosos, líquidos ou sólidos (asfaltos) que impregnam rochas porosas armazenadoras (arenitos betuminosos). Os folhelhos betuminosos são rochas sólidas com teor de carbono inferior ao dos carvões e ricas em argilas.

A aparência lamelar do carvão deve-se aos seus constituintes individuais elementares, microscópicos, chamados de macerais. Além dos macerais (Fig. XI.14), o grupo maceral, o microlitópico e o litótipo descritos na petrologia dos carvões identificam os elementos, a origem e a formação do carvão ou da turfa. Além dos macerais, o carvão é constituído por matérias minerais, sendo as mais comuns os minerais de argila, carbonatos, sulfetos e quartzo. A presença de matéria mineral é de grande significado tecnológico, pois pode ser responsável por abaixamento na temperatura de fusão das cinzas, corrosão e abrasão nos tubos das caldeiras.

O "grade" do carvão é dado pelo teor da matéria mineral (cinzas), sendo fator de depreciação da qualidade. Os teores de cinzas e enxofre fornecem elementos para a construção gráfica das curvas de lavabilidade do carvão. O "*rank*" é a medida do grau de maturidade ou metamorfismo a que foi submetido o carvão durante sua evolução na série natural de linhitos a antracitos. Os principais parâmetros para sua avaliação envolvem: umidade de equilíbrio, poder calorífero,

Constituintes do Carvão

Tipo de Carvão (Fácies)	Litotipos		Constituintes Micropetrográficos		
	Classif. USA (USGS)	Classif. Européia	Microlitotipos Básicos	Grupos de Macerais	Macerais Básicos
Carvões Húmicos com Estratificação *(Banded Coals)*	Vitrênio	Vitrênio	Vitrita	Vitrinita	Telinita Colinita
	Brilhante	Clarênio	Clarita		
	Medianamente Brilhante (Carvão Detrítico)		Liptita	Exinita	Alginita Sporinita Resinita Cutinita
	Fosco	Durênio	Durita	Inertinita	Micrinita Macrinita Sclerotinita Semi-Fusinita Fusinita
	Fusênio	Fusênio	Fusita		
Carvões Sapropélicos Maciços *(Non-Banded Coals: Cannel Coals Bog-Heads)*	Carvão Detrítico Fosco			Exinita	Sporinita Alginita

Figura XI.14 – Constituintes do Carvão conforme Ferreira, 1980

Figure XI.14 – Coal components according to Ferreira, 1980

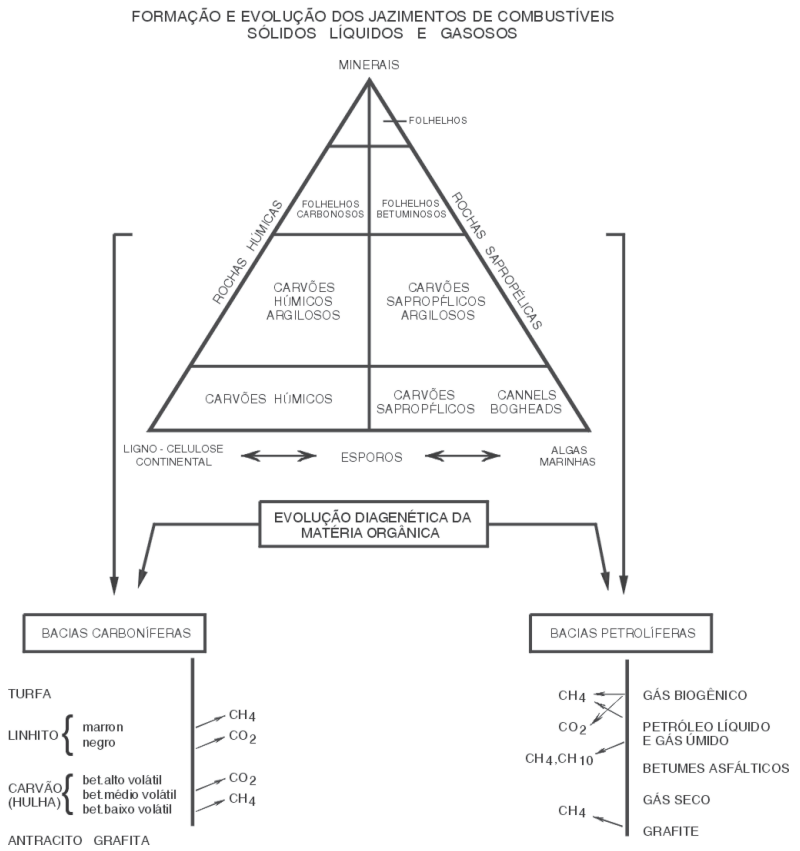


Figura XI.15 – Formação e Evolução dos Jazimentos de Combustíveis Sólidos, Líquidos e Gasosos

Figure XI.15 – Formation and Evolution of Solid, Liquid and Gaseous fuel deposits

matéria volátil, carbono fixo total, teor de hidrogênio e reflectância das vitrinitas.

Os carvões húmicos brasileiros, de idade Permiana (280 Ma), formaram-se da biomassa de florestas e arbustos (tecidos lenhosos, celulose, esporos, ceras, resinas, géis, algas, betumes e hidrocarbonetos) em um ambiente costeiro formado por deltas e lagunas em clima sazonal e temperado.

Segundo Guerra-Sommer *et al*. 1980 (*apud* Menegat *et al*. 1998) – as principais formadoras do carvão brasileiro foram: licófitas (*Brasilodendron pedroanun*), esfenófitas (*PhylloTheca* indica), gimnospermas (*Glossopteris indica, Rufloria Gondwanensis* e *Buridia isophylla*), filiníceas (*Asterotheca Sp*) e coníferas primitivas que habitavam regiões mais altas e secas.

Ao tempo do Continente Gondwana (660–65 Ma), a flora primitiva e as rápidas variações do clima (geleiras e clima temperado) resultaram em rochas bandadas (varvitos e ritmitos) do Grupo Itararé do Super Grupo Tubarão (permo-carbonífero). No Permiano (290–250 Ma) um clima mais quente resultou em florestas de pteridófitas submetidas a freqüentes inundações das turfeiras pelo mar, em ciclos de tempestades que causavam arrombamento nas barreiras arenosas, promoviam a destruição das proto-camadas de carvão e a deposição de areias, siltes e argilas, mesclando matéria inorgânica com matéria carbonosa. Estas freqüentes intercalações formaram, após diagênese, os carvões da Bacia do Paraná.

Algumas destas camadas de carvão melhoraram no "*rank*" (grau de evolução de um Carvão) devido à influência térmica de lavas basálticas sobre o carvão formado, no Atlantiano (140–65 Ma), por ocasião da abertura do Oceano Atlântico.

Parte das camadas de carvão de Santa Catarina são coqueificáveis e já produziram fração metalúrgica para a siderurgia nacional. Hoje as carboníferas catarinenses só produzem carvão da fração energética (CE – 4.500 kcal/kg) e pouco carvão industrial. No Rio Grande do Sul, a jazida de Morungava–Chico Lomã–Santa Teresinha conta com carvão metalúrgico subterrâneo, mas ainda não está em produção.

As minas sul-riograndenses apenas produzem carvão energético (CE – 3.100, CE – 3.300, CE – 4.200, CE – 4.500, CE – 4.700 e CE – 5.200 kcal/kg), pois os carvões das jazidas de Candiota, Capané, Iruí, Leão e Charqueadas não apresentam FSI adequado. As minas paranaenses (da Carbonífera Cambuí) produzem carvão energético (CE – 6.000 Kcal/kg) nas jazidas de Figueira e Telêmaco Borba.

A diferença entre carvão energético (carvão vapor) e metalúrgico (carvão coque) é feita por análises físico-químicas e ensaios-padrão das amostras (Fig. XI.16). Segundo a CIENTEC (Fundação de Ciências e Tecnologia–RS), "a classificação de um carvão é fator importante, quer para sua interpretação,

quer para sua comercialização, podendo ser considerada sob numerosos aspectos: geológica ou química, científica ou prática, regional ou internacional. Para realizá-la, indispensável se torna definir previamente os parâmetros que foram escolhidos para elaborar determinada classificação. A seleção de parâmetros implica inicialmente em escolha e, em seguida, em uma hierarquia entre os caracteres selecionados" (Joana Nahuys, comunicação pessoal).

As diferentes classificações empregadas por distintos países visam a mais bem conhecer o combustível e sua adequação às necessidades das indústrias consumidoras (energia elétrica, gaseificação, siderúrgicas, carboquímica, papel-celulose, cimento, cerâmica, alimentos), daí as variantes dos parâmetros analisados e as normas de preparo das amostras nos laboratórios.

A Atual Mineração do Carvão no Brasil

A mecanização da lavra de carvão mineral na década de 70, em Santa Catarina e no Rio Grande do Sul, acelerou o desenvolvimento das frentes de extração no subsolo, o que demandou estudos geológicos e controles estruturais das rochas cada vez mais sofisticados (levantamento das falhas, dureza das encaixantes, sustentação do teto, água e nível freático, atitudes das camadas, qualidade do carvão) para o planejamento das atividades mineiras.

Em Santa Catarina, predominam minas de encostas e subterrâneas, com acesso por meio de planos inclinados ou poços, utilizando o sistema mecanizado ou semimecanizado, e método de mineração por câmaras e pilares, transporte do carvão por correias ou guincho com cabo sem fim, e vagonetas

Classe	Grupo	Carbono Fixo > (%) <	Matéria Volátil (%) <	Poder Calorífico ≥ (%) <	Poder Aglomerante
I Antracito	1. Metaantracito	.. - 98	.. 2	.. ..	
	2. Antracito	92 - 98	8 - 2	.. ..	
	3. Semiantracito	86 -92	8 - 14		
II Betuminoso	1. Betuminoso baixo volátil	78 - 86	14 - 22	.. ..	Com umente Aglom erante
	2. Betuminoso médio volátil	69 - 78	22 - 31	.. ..	
	3. Betuminoso alto volátil A	.. 69	31 ..	14.000 ..	
	4. Betuminoso alto volátil B	.. ..	.. ..	13.000 - 14.000	
	5. Betuminoso alto volátil C	.. ..	.. ..	11.500 - 13.000 10.500 - 11.500	Aglomerante
III Sub-Betuminoso	1. Sub-betuminoso A	.. ..	.. ..	10.500 - 11.500	Não Aglomerante
	2. Sub-betuminoso B	.. ..	.. ..	9.500 - 10.000	
	3. Sub-betuminoso C	.. ..	.. ..	8.300 - 9.500	
IV Linhito	1. Linhito A	.. ..	.. ..	6.300 - 8.300	Não Aglomerante
	2. Linhito B	.. ..	.. ..	.. - 6.300	

Figura XI.16 – Classificação dos Carvões pelo *"rank"* (Borges *et al.* 1978). Estas especificações dos carvões são baseadas no *rank*, isto é, de acordo com seus graus de metamorfismo, ou alterações progressivas nas séries naturais desde linhito até antracito. (Alterações físico-químicas resultantes de diferenças entre os graus de carbonificação); Carbono fixo é expresso em %, em base livre de matéria-mineral; A matéria volátil é expressa em %, em base seca livre de matéria-mineral; O poder calorífico é expresso em Btu/lb (1 Btu/lb = 0,56 kcal/kg), determinado na mistura, livre de matéria-mineral

Figure XI.16 – Coal classification by "rank" (Borges et al. 1978). These coal specifications are based on rank, that is, according to their degree of metamorphism, or progressive changes in natural series from lignite to anthracite. (Physical-chemical changes resulting from differences between coal enrichment degrees); Fixed carbon expressed as %, on a basis free from mineral matter; Calorific power expressed in Btu/lb (1 Btu/lb = 0.56 kcal/kg), determined in the mix, free from mineral matter

sobre trilhos de aço e poços de ventilação. Há também minas a céu aberto, que utilizam o método "*stripping mining*" ou cortes em tiras, com equipamentos de terraplenagem (minas Comin, Urussanga e Lauro Müller).

O sistema de beneficiamento do carvão conta com britadores, *jigs*, ciclones, mesas concentradoras e flotação. Atualmente as mineradoras rebeneficiam rejeitos antigos produzindo finos de carvão e produto final CE-4.500, consumido pela térmica Jorge Lacerda em Tubarão.

No Rio Grande do Sul, a CRM produz carvão na mina do Leão I utilizando poço com 135 m de profundidade, em sistema mecanizado de câmaras e pilares, com máquinas de abertura de galerias ("*road headers*") modelos F6-A e AM-50 (Voest-Alpine), carregadeiras frontais elétricas (*bobcat*), correias transportadoras e ventiladores axiais. O sistema de beneficiamento do carvão utiliza jigue metálico tipo Baum e hidrociclones no Lavador Eurico Rômulo Machado.

A mina de Leão II da CRM possui 2 planos inclinados com profundidade de 200 m, 8 km de galerias subterrâneas, 2 silos de 33 m, está semi-equipada para operar no método "*long-wall*" mas ainda encontra-se inoperante. No futuro produzirá 1 Mta de carvão CE-3.700 para abastecer a termoelétrica Jacuí I (350 MW).

A mina de Candiota, a céu aberto, utiliza o método de mineração por tiras (*stripping mining*), "*truck/shovel*", escavadeira "*dragline*" BE 1260 W (20 m^3), em cortes de 30/90 m de largura, e carregamento por "*shovel*" elétrica PH 1600 (9 m^3) em caminhões fora-de-estrada RK-435 (65 toneladas). O carvão é britado e entregue à usina termoelétrica por correia transportadora de 4 km (Fig. XI.17). Nesta mina são adotadas medidas de preservação do meio ambiente, com regeneração ambiental simultânea à lavra do minério.

A mineradora COPELMI utiliza em suas minas a céu aberto (Recreio, Faxinal, Butiá Leste) o método "*truck-shovel*" e mineração por tiras. O mesmo método é empregado na mina de Seival. O beneficiamento do carvão se faz por jigues Baum e Menally, ciclones e espirais produzindo carvões CE-3.700, CE-4.200, CE-4.700 e CE-5.200. Esta empresa planeja no futuro abrir a mina de Guaíba (Eldorado do Sul).

A carbonífera Palermo lavra a mina de Capané (Cachoeira do Sul) a céu aberto pelo sistema "mineração por tiras" e "*truck/shovel*". O beneficiamento é por jigues Baum, peneiramento e ciclonagem. Em 1998 foram produzidas 123.000 t de minério e produtos foram classificados como CE-3.300, CE-4.200 e CE-4.700.

A Companhia Carbonífera do Cambuí (PR) realiza a mineração do carvão em sua mina subterrânea Amando Simões situada no município de Figueira. Utiliza o método de lavra em "*short-wall*", ou frente curta, com câmaras estreitas, volta em pilar com plano de fogo "duro", desenvolvimento com *bobcat* e transporte por vagonetas, cabo sem fim e transportadora de correias. Possui *skip* duplo para 1.600 kg e velocidade de 3 m/seg. A usina de beneficiamento, equipada com jigue-hartz e britador de rolos, tem capacidade de 80 t rom/h. Produz carvão CE-6000 com recuperação de 63% do r.o.m. O produto contém 29,80% cinzas, 3,20% de enxofre e poder calorífico de 6.070 Kcal/Kg. O carvão CE-6.000 é transformado em energia elétrica na usina térmica da Companhia Parananense de Energia – Copel em Figueira (20 MW). A Copel e a Cambuí, por meio da CARBOPEL, estão construindo a usina térmica Copel II, de 125 MW em leito fluidizado, que consumirá o carvão da nova mina Sapopema a ser aberta em 2003.

Para o dimensionamento dos pilares das minas de carvão são utilizados os métodos da Câmara de Minas da África do Sul, bem como o Dimenpil, que é um método desenvolvido pela CIENTEC – Fundação de Ciência e Tecnologia – RS. Este método da CIENTEC é embasado em testes e ensaios feitos nas camadas de carvão do sul do Brasil. O fator de segurança mínimo admitido em Santa Catarina no cálculo de pilares é 1,8 pelo método Sul-Africano, e 1,3 pelo Dimenpil. O fator de segurança mínimo admitido pelo DNPM é definitivo e desde 1990 não é mais permitida a prática de desmonte dos pilares, ou seja: a mina após sua exaustão deverá permanecer estruturalmente íntegra.

Produção e Consumo do Carvão Brasileiro

A siderurgia a alto forno no Brasil foi implantada em Volta Redonda (RJ), logo após a Segunda Guerra Mundial, como indústria fundamental para o desenvolvimento nacional, mas sua concepção industrial foi calcada no carvão importado. A indústria siderúrgica foi induzida como parte estratégica que propiciaria a auto-suficiência em épocas de crise. Deveria consumir coque utilizado no 1º alto forno, que seria composto de 40% de carvão metalúrgico nacional com 18,5% de cinzas e 1,75% de enxofre, extraído da jazida Sul-Catarinense, e 60% de carvões metalúrgicos importados, de menores custos e com teores mais reduzidos desses dois componentes indesejáveis.

Na expansão da indústria siderúrgica nas três décadas seguintes, ficou evidente o esforço das siderúrgicas estatais em reduzir custos e aumentar produtividade pelo aumento da participação da parcela importada de 60% para 80% e, depois, 90%, com exceção de breves crises devidas, em geral, a greves em minas norte-americanas. Apesar dos problemas energéticos e econômicos causados pelos choques do petróleo, as minas sul-catarinenses atingiram, como produção máxima de carvão siderúrgico, 1,305 milhão de toneladas em 1980, correspondendo a 23,9% do consumo das coqueiras. Com o final da crise petrolífera e o aumento dos custos das minas causados pela exaustão dos trechos geologicamente mais

(a)

(b)

Figura XI.17 – Similaridades entre Minas de Carvão a Céu Aberto. Acima a Mina da Warkworth no Hunter-Valley, Austrália (4 Mta) e abaixo a Mina de Candiota da CRM, RS (2,4 Mta). No canto esquerdo a regeneração ambiental é concomitante à lavra. Na foto inferior (do autor) os pesados caminhões aguardam descarga na moega do britador. Notar a correia transportadora que entrega carvão na Usina Térmica Presidente Médici, situada a 4 km.

Figure XI.17 – Similarities of open pit coal mines. Above mine of Warkworth in Hunter Valley, Australia (4 Mta) and below Candiota Mine of CRM, RS (2.4 Mta). At the left corner environmental regeneration follows suit after mining activities. In lower photo (from the author) heavy trucks await unloading at the crusher. Note the conveyor belt that carries coal in the Presidente Médici Thermoelectric Plant, located 4 km away.

favoráveis, a produção nacional caiu gradualmente para cerca de 0,8 Mt no triênio 1987/89, o que representou bem menos de 10% do consumo das coqueiras, que tinha crescido do patamar de 5 Mt (1978/82) para 10 Mt (1987/93). Finalmente, em 1990, a desregulamentação total das indústrias carbonífera e siderúrgica encerrou subitamente o uso do carvão nacional na siderurgia.

As perspectivas de retorno da participação do carvão brasileiro como insumo siderúrgico dependem das possibilidades de instalar minas nas jazidas de Chico Lomã–Morungava e Santa Terezinha (RS). Testes executados com testemunhos de sondagem de ambas as jazidas e com material colhido de um poço exploratório em Chico Lomã mostraram que em ambas as jazidas o carvão bruto pode ser beneficiado para obtenção de uma parcela de uso siderúrgico, com rendimento de duas a seis vezes maior que o usual nas atuais minas sul-catarinenses. Essa parcela tem baixos teores de enxofre, teores de cinzas entre 9% e 15% e propriedades coqueificantes similares.

Para maior utilização do carvão na matriz energética brasileira, faz-se necessário pesquisar novas rotas tecnológicas a serem adotadas pelas indústrias, visando a maior aproveitamento do energético nacional. Por exemplo, a rota siderúrgica desenvolvida pela Aços Finos Piratini/Siderbrás nos anos 70 e 80 permitiu aprimorar o “método Lurgi” na produção de aços especiais com a utilização de carvões energéticos do

leão (RS) do tipo CE-5900 e CE-6200, com resultados altamente satisfatórios na siderurgia e separação do carvão em meio denso.

A privatização da Aços Finos e a extinção da Siderbrás desativou a rota que se utilizava do carvão nacional, perdendo-se a tecnologia e a "inteligência" desenvolvida.

Oferta Mundial de Carvão

Em 1998, com base na análise do Sumário Mineral do ano DNPM 2000, houve uma redução do consumo mundial de carvão mineral, principalmente devido à crise econômica dos países asiáticos. A sua produção em 1998, que alcançou 1,24 bilhão de toneladas de carvão mineral, é inferior à de 1997, quando se havia produzido 1,36 bilhão de toneladas (Tab. XI.2). Os Estados Unidos da América aumentaram em 2,6% sua produção em relação ao ano anterior, atingindo 1,014 bilhão de toneladas de carvão em 1998. Nesse país cerca de 56,3% da geração de energia elétrica em 1998 foi proveniente do carvão mineral.

A Austrália é o terceiro grande produtor mundial e teve crescimento de 10% em sua produção carbonífera entre 1998 e 1997. Em 1998 produziu 356 Mt, sendo o principal exportador mundial com 167 Mt no ano. O Japão é o maior consumidor do carvão mineral do exterior, tendo importado 125 Mt em 1998. Este país conta com cerca de 112 minas de carvão, sendo 63 minas subterrâneas e 49 minas a céu aberto; enquanto o Brasil possui 34 minas e 15 empresas carboníferas, distribuídas nos Estados do Paraná, Santa Catarina e Rio Grande do Sul.

Não se deve confundir a produção bruta de carvão (*run-of-mine*) com produção de carvão vendável, esta geralmente se refere a produto de beneficiamento entregue às indústrias consumidoras.

O Brasil produz cerca de 10 Mta de carvão bruto e deste, cerca de 6 Mta de carvão vendável (estáticas de 1999). A distribuição do consumo para o carvão nacional em 1999 se dá como segue: 85% na termoeletricidade, 6% na indústria petroquímica, 4% na indústria do papel e celulose e o restante em outras indústrias (cerâmica, alimentos, fumo, etc.). Em 2000, 95% do carvão nacional foi consumido pelas térmicas brasileiras.

Como se vê no quadro "Produção Mundial de Carvão Mineral" (Tab. XI.2), enquanto os países mais industrializados produzem carvão na escala de bilhão de toneladas ao ano, o Brasil não aproveita mais que 10 milhões de toneladas-ano do seu energético e ainda recorre à importação superior a 13 Mta para a siderurgia. As principais estatísticas elaboradas pelo DNPM no Sumário Mineral 2000 sobre o carvão mineral estão na Tab. XI.3.

A indústria consome entre 5,5 e 5,7 Mta do energético nacional e importa entre 11 e 13 Mta de carvão, despendendo entre US$ 530 e US$ 630 milhões/ano, principalmente para fins siderúrgicos, contribuindo negativamente na balança de pagamentos brasileira.

Participação do Carvão na Produção de Energia Primária

Para efeitos comparativos entre o peso de cada energético na produção de energia primária no mundo, apresenta-se a Tab. XI.4.

Como indicado na Tab. XI.4, a participação do consumo de combustíveis na produção de energia primária na matriz energética traduz um desequilíbrio que ocorre no Brasil: em 2000, de um total de 132,7 Mtep (milhões de toneladas equivalentes de petróleo) produzidos, 63,60% foram devidas ao petróleo, insumo que o país não é auto-suficiente; 6,40% foram devidos ao gás natural; 9,19% ao carvão (maioria importado, cerca de 8%); 1,05% à energia nuclear e 19,74% à hidroeletricidade.

Tabela XI.2 Produção Mundial de Carvão Mineral
Table XI.2 World Production of Mineral Coal

PAÍS	PRODUÇÃO DE CARVÃO (Mt) / % (Mt – MILHÕES DE TONELADAS)			
	1997	%	1998	%
Brasil	5	0,1	6	0,1
África do Sul	220	4,6	222	4,8
Austrália	322	6,7	356	7,6
China	1.360	28,5	1.236	26,6
Estados Unidos	987	20,6	1.014	21,8
Ex-URSS	Nd	Nd	Nd	
Índia	321	6,7	323	6,9
Polônia	199	4,1	180	3,9
Rússia	244	5,1	232	5,0
Outros	1.115	23,6	1.086	23,3
Total	**4.773**	**100**	**4.655**	**100**

Fonte: Sumário Mineral DNPM, 2000.

Tabela XI.3 Principais Estatísticas do Carvão Mineral no Brasil
Table XI.3 Mineral Coal in Brazil: Main Statistics

		1997	1998	1999
Produção	Energético (Mt)	5,542	5,485	5,618
	Metalúrgico para fundição (Mt)	0,09	0,086	0,102
Importação	Carvão metalúrgico (Mt)	11,954	10,697	13,430
	(M US$, CIF)	608,827	633,645	529,109
Exportação	(1000 t)	477	65	242
	(1000 US$ FOB)	213	29	100
Consumo	Metalúrgico para siderurgia (MT)	10,481	11,00	10,600
	Finos metalúrgico (1000 t)	90	86	102
	Energético (Mt)	5,615	5,525	5,645
Preços	Carvão (US$ CIF/t)	52,50	59,20	39,40

Fonte: Sumário Mineral 2000 – DNPM - Pervisto em 1999. Mt – milhões toneladas.

Tabela XI.4 Participação do Consumo de Combustíveis na Produção de Energia Primária
Table XI.4 Share of fuel consumption to produce Primary Energy

PAÍS	ENERGIA PRIMÁRIA TOTAL EM Mtep (milhões de toneladas equivalentes de petróleo)	PARTICIPAÇÃO (%), ANO 2000				
		ÓLEO	GÁS NATURAL	CARVÃO	ENERGIA ELÉTRICA	HIDROELETRICIDADE
África do Sul	108,3	20,77	-	75,62	3,23	0,27
Alemanha	329,4	39,31	21,64	25,10	13,10	0,63
Argentina	54,1	37,15	55,00	1,30	2,95	3,69
Austrália	106,0	36,50	18,00	44,05	-	1,32
Brasil	132,7	63,60	6,40	9,19*	1,05	19,74
Canadá	231,8	35,76	30,24	12,64	8,06	13,28
China	752,7	30,14	2,96	63,78	0,57	2,52
França	258,2	36,83	13,78	5,42	41,55	2,40
Índia	294,2	33,17	7,64	55,54	1,39	2,24
México	127,4	66,16	25,11	4,78	1,41	1,51
USA	2.278,6	39,38	25,84	24,75	8,98	1,02

Atentar para a importância do carvão mineral e seu aproveitamento na produção de energia na maior parte dos países e sua pouca utilização no Brasil. Estão excluídos na tabela turfa e madeira. Fonte: World Energy Council 2001. Org.: Gomes, 2002. * Inclui carvão importado.

No mesmo período pode-se confrontar a participação dos combustíveis na matriz de distintos países, por exemplo:

– A África do Sul produziu 108,3 Mtep de energia primária com a seguinte origem: 20,77% do petróleo, 75,62% do carvão, 3,23% da energia nuclear e 0,27% da hidroeletricidade.
– A Alemanha produziu 329,4 Mtep de energia primária, com a seguinte distribuição: 39,31% originada do petróleo, 21,64% do gás, 25,10% do carvão, 13,10% da energia nuclear e 0,63% da hidroeletricidade.
– A Austrália produziu em 2000 106 Mtep assim distribuídos: 36,50% com petróleo, 18% com gás natural, 44% com carvão e 1,32% com hidroeletricidade.
– A China produziu em 2000 752,7 Mtep sendo 30,14% originada do petróleo, 2,96% do gás natural, 63,78% do carvão, 0,57% da energia nuclear e 2,52% da hidroeletricidade.
– A França produziu em 2000 258,2 Mtep originados 36,83% do petróleo, 13,78% do gás natural, 5,42% do carvão, 41,55% da energia nuclear e 2,405 da hidroeletricidade.
– A Índia produziu 294,2 Mtep em energia primária, sendo 33,17% originados do petróleo, 7,64% do gás natural, 55,54% do carvão, 1,39% da energia nuclear e 2,24% da hidroeletricidade.
– Os Estados Unidos da América produziram 2.276 Mtep em 2000, com a seguinte participação: 39,38% originados do petróleo, 25,84% do gás natural, 24,75% do carvão, 8,98 da energia nuclear e 1,02% da hidroeletricidade.