

Perspectivas para a geração termelétrica a carvão

Juliana de M. Marreco¹
Amaro Pereira Jr²
Marina E. Tavares²

RESUMO

Este trabalho apresenta uma análise da expansão do uso do carvão para geração de eletricidade no Brasil e no mundo. Com base em uma perspectiva global dos mercados de energia e de cenários para crescimento da demanda, são analisados prós e contras desse energético, que se por um lado se apresenta como solução para garantir a segurança do suprimento de energia por outro pode representar uma ameaça ao meio ambiente.

Nesse contexto, foi feita uma breve revisão das novas tecnologias capazes de inserir novamente o carvão no eixo do planejamento energético mundial, contornando essas restrições.

Sem nenhum viés pró ou contra o carvão o objetivo do trabalho é fornecer subsídios para uma avaliação da possibilidade de expansão do uso desse combustível como fonte de geração de energia elétrica no Brasil e no mundo.

ABSTRACT

This paper presents coal future perspectives on power generation. Based on a global market point of view and on demanda scenarios. Positive and negative aspects are analysed: if on one hand it may be the solution for safety energy supply, by the other hand it may jeopardize the environment. Nevertheless, new clean coal technologies are now available overcoming some of these difficulties.

Without any bias, the paper objective is to provide data for a fair valuation over the coal expansion on power generation in the World and in Brazil,

INTRODUÇÃO

O carvão mineral é uma mistura de hidrocarbonetos formada pela decomposição de matéria orgânica durante milhões de anos, sob determinadas condições de temperatura e pressão. De acordo com o Atlas da Energia Elétrica do Brasil (ANEEL, 2005), esse combustível fóssil é classificado, em função sua qualidade, como: turfa, de baixo conteúdo carbonífero, que constitui um dos primeiros estágios do carvão, com teor de carbono na ordem de 45%; linhito, que apresenta teor de carbono que varia de 60% a 75%; carvão betuminoso (hulha), mais utilizado como combustível que contém entre 75% e 85% de carbono; e antracito, o mais puro dos carvões, que apresenta um conteúdo carbonífero superior a 90%.

Apesar de ser um combustível bastante poluente, o carvão deve continuar desempenhando um importante papel como fonte de energia no cenário mundial, devido à disponibilidade de enormes reservas que estão geograficamente espalhadas. Tal característica livra o abastecimento energético das limitações geopolíticas ou de questões de segurança. Dessa maneira, o carvão apresenta um grande potencial de contribuir, por exemplo, para aumento das taxas de eletrificação nos países em desenvolvimento contribuindo para redução dos níveis de pobreza, para industrialização e para melhoria da qualidade de vida.

Dessa maneira, o objetivo desse artigo é apresentar um panorama geral do carvão mineral de forma a dar subsídios para uma avaliação da possibilidade de expansão do uso desse combustível como fonte de geração de energia elétrica no Brasil e no mundo.

VISÃO GERAL DO CARVÃO NO MUNDO

Dentre todos os combustíveis fósseis, o carvão possui a maior reserva mundial totalizando 216 Mtep o que seria suficiente para suprir o consumo nos níveis atuais por 219 anos. Além disso, ao contrário do que ocorre com o petróleo e com o gás natural, as reservas de carvão apresentam uma distribuição geográfica no mundo muito mais equitativa, sendo que 75 países possuem reservas

¹ PPE/COPPE/UFRJ

² EPE

expressivas. Esse fato isoladamente representa uma forte vantagem competitiva do carvão frente aos outros combustíveis fósseis.

Ainda assim, 57% das reservas recuperáveis encontram-se em três países: Estados Unidos (27%), Rússia (17%) e China (13%). Outros seis países respondem por 33%: Índia, Austrália, África do Sul, Ucrânia, Cazaquistão e Iugoslávia. Em 2002 esses nove países juntos representavam 90% das reservas recuperáveis mundiais e por 78% da produção. (Fonte: LEHMAN BROTHERS)

O aumento do consumo de energia mundial é uma tendência consolidada que é adotada como referência para o planejamento energético de longo prazo em todo o mundo. Nessa linha, e considerando que a disponibilidade de energia é condição indispensável ao desenvolvimento de uma nação, são feitos estudos de cenários energéticos com o intuito de auxiliar na elaboração de estratégias nacionais para garantir a segurança de suprimento de energia em todo o mundo.

De acordo com o DOE (DOE, 2005), nas economias maduras há previsão de crescimento no consumo de carvão, que deverá sair de 2.067 milhões de toneladas em 2002 para 2.261 milhões de toneladas em 2015 e para 2.474 milhões de toneladas em 2025. Nos países do oeste da Europa as preocupações ambientais assumem um importante papel na competitividade entre o carvão, o gás e a geração nuclear. Além do gás natural, o aumento da participação das fontes renováveis nessa região tem se intensificado devido à pressão nos países membros da União Européia para redução de subsídios que existem na produção de carvão e pelo relativo baixo crescimento no consumo de energia (0,5% ao ano). Na Ásia, onde se concentram os principais produtores mundiais, os mercados maduros são a Austrália, a Nova Zelândia e o Japão.

Nas economias em transição do leste europeu e da ex União Soviética, projeta-se um crescimento saindo de 771 milhões de toneladas em 2002 para 850 milhões de toneladas em 2015 chegando a 2025 com 874 milhões de toneladas.

O consumo de carvão na Ásia deve mais do que dobrar até 2025 tendo um aumento projetado em 2.317 milhões de toneladas, o que representa 78% de aumento no consumo mundial. Com um crescimento substancial na China (1.819 milhões de toneladas) e na Índia (315 milhões de toneladas) a participação da Ásia emergente no consumo mundial deverá passar de 40% em 2002 para 51% em 2015 atingindo 54% em 2025. (DOE, 2005)

PRINCIPAIS ATORES

Em comparação ao consumo mundial de carvão, o seu comércio internacional é relativamente pequeno. O carvão mundial é comercializado em dois mercados distintos: o mercado de carvão térmico e o de coque.

Cinco países exportadores dominam o mercado de carvão térmico: Austrália, China, Indonésia, África do Sul e Colômbia.

O crescimento recente no comércio internacional resultou do aumento de demanda de carvão para geração de eletricidade, particularmente na Ásia. Países como a Coreia do Sul, Taiwan, Índia, China e Malásia serão os maiores importadores de carvão do continente asiático.

Durante os anos 80 a Austrália tornou-se líder na exportação de carvão, atendendo principalmente as necessidades de carvão da Ásia. Atualmente 50% das exportações de carvão Australiano são destinados ao Japão, o maior importador. Outros dois fornecedores de carvão para os mercados asiáticos são a China e a Indonésia. Em 2003 a China exportou 94 milhões de toneladas para outros países do continente representando 24% do total das importações da Ásia. A Indonésia exportou 78 milhões de toneladas, o que representa 20% das importações totais de carvão no ano. No entanto, o aumento da demanda doméstica nesses países nos próximos anos deverá limitar a sua capacidade de exportação. Os EUA que já foram importante fornecedor de carvão para a Ásia hoje contribuem com uma participação minoritária no mercado asiático. As importações de carvão americano passaram de 28% em 1980 para menos de 0,1% em 2003. (Fonte: LEHMAN BROTHERS)

O carvão de baixo custo da América do Sul (Colômbia e Venezuela) deverá aumentar a sua participação nas importações européias deslocando fornecedores de carvão de preços mais altos dos EUA e da Polônia. Na Colômbia as exportações deverão passar de 36 Mt em 2002 para 64 Mt em 2015. (Fonte: LEHMAN BROTHERS)

A evolução da demanda futura por carvão no mundo dependerá essencialmente dos seguintes fatores:

- taxa de penetração do Gás Natural no mundo,
- preço relativo do Gás Natural em relação ao carvão e ao petróleo,
- interconexões entre os países (integração energética), e
- da disponibilidade de novas reservas de Gás Natural.

Considerando que as perspectivas de preço futuro do gás natural apontam para uma tendência de alta e que as recentes tensões políticas nas regiões importantes para o gás podem limitar a sua demanda futura, o carvão surge como uma alternativa energética relativamente barata e de suprimento seguro que poderá reduzir a dependência externa em diversos países, atendendo às necessidades de energia que certamente irão contribuir para redução da pobreza e para o desenvolvimento de muitos países.

4. PERSPECTIVAS PARA A GERAÇÃO A CARVÃO

4.1. NO MUNDO

O carvão é combustível mais utilizado na geração de eletricidade no mundo, responsável por 39% em 2002. Tal participação deverá ser mantida de acordo com projeções oficiais da Agência Internacional de Energia e do DOE (IEA, 2005 e DOE 2005).

As exportações Australianas tem apresentado um leve declínio em função do crescimento da exportação Chinesa para outros países da Ásia, deslocando o mercado australiano, mas ainda assim o país deverá manter a sua liderança na exportação de carvão. Os principais mercados consumidores são o setor elétrico, aço, cimento e a indústria em geral. O maior crescimento esperado no entanto é na geração de energia elétrica.

Na China entre 96 e 2001 a produção chinesa entrou em declínio devido a uma orientação do governo de fechar esse setor industrial inseguro e encorajar produções mais eficientes de grandes produtores. A partir de 2002 nota-se um movimento no sentido contrário com o aumento da produção de minas locais. Espera-se que o boom da economia deverá acarretar grande crescimento do consumo de energia elétrica e conseqüentemente uma forte demanda por carvão estimulando o aumento da produção a despeito da intenção do governo de inibir a produção insegura. Vale lembrar que a incidência de acidentes nas minas de carvão chinesas é a maior do mundo.

Existe um potencial significativo para aumento da capacidade de produção de carvão na China nos próximos anos. Acredita-se que o mercado exportador de carvão térmico chinês deverá crescer para 106 Mt em 2015, um crescimento de 35 Mt em relação aos patamares verificados em 2002. A infraestrutura do país vem sendo fortalecida e não deve representar restrição ao desenvolvimento do mercado exportado chinês. Portanto a combinação de enormes reservas com forte crescimento da demanda por energia elétrica, irão aumentar o uso do carvão na geração termelétrica nos próximos anos para evitar que restrições energéticas refreiem o espetacular crescimento da economia chinesa.

Na Indonésia o mercado tem apresentado um forte crescimento e o país passou a ser um dos maiores exportadores de carvão térmico tendo exportado 69 Mt em 2002. Uma grande variedade de carvões fez com que o mercado ficasse reluzente quanto ao carvão da Indonésia. Do ponto de vista dos custos a industrial da Indonésia é altamente competitiva e o carvão é aceito tanto no mercado exportador como pelos consumidores domésticos. Como um produtor relativamente novo no cenário internacional, a Indonésia compete com outros mais tradicionais mantendo vantagem competitiva pela sua localização estratégica. O país possui potencial para expandir a sua produção, mas as projeções indicam que essa expansão será lenta devido a falta de investimentos na exploração e no desenvolvimento de novas minas. Além disso, a percepção da instabilidade do governo reduz a confiança de investidores estrangeiros limitando o crescimento da produção. A demanda de eletricidade nacional é crucial para determinação das disponibilidades para exportação.

A África do Sul já começa a ter problemas no seu suprimento de energia elétrica, que podem ser observados nos recentes apagões. Estima-se que não mais de 20% da população africana não tem acesso direto a eletricidade. Em alguns países esse número chega a 5%! Espera-se um crescimento da demanda de pelo menos 5% no próximos 20 anos no continente. Na África do Sul existem grandes reservas de carvão e o mercado de exportação representava aproximadamente 30% da produção nacional. As minas são a céu aberto e subterrâneas, produzindo quantidades suficientes para o demanda da base com um carvão de alto conteúdo de cinzas localizado bem próximo às centrais termelétricas.

Espera-se que em 2015 boa parte das minas tenham suas reservas esgotadas. Outras deverão aumentar sua capacidade até lá, mas o efeito líquido é uma potencial redução da capacidade de exportação, favorecendo o atendimento da demanda doméstica. O potencial de crescimento em áreas distantes dos campos existentes é remoto e limitado pela falta de infraestrutura.

Na Colômbia o carvão térmico representa 90% das reservas totais medidas do país. O crescimento da indústria é basicamente voltado para fins de exportação e há capacidade para expansão da produção atual.

A Venezuela possui a segunda maior reserva de carvão da América do Sul. Em torno de 71% das exportações do carvão térmico da Venezuela foram destinadas as América, US(69%) e Canadá (2%). Os maiores clientes na Europa são a Itália (17%) e França (8%).

O carvão da Venezuela é de baixo custo e alto conteúdo energético. O país tem potencial para aumentar suas exportações, mas a instabilidade política não favorece o desenvolvimento de novos projetos. Se o risco político for reduzido as exportações poderiam crescer rapidamente.

Estima-se que 29% das reservas mundial estejam nos EUA, onde é largamente utilizado na geração termelétrica. No entanto nos últimos anos as exportações de carvão norte-americanas vem caindo particularmente em função dos baixos preços e pelo aumento da demanda doméstica por carvão com baixo conteúdo de enxofre pelas companhias de eletricidade. A maior parte das exportações são de alta qualidade, para mercados tais como Europa, Egito, Canadá, Brasil, Japão e Coréia.

A produção vem decrescendo devido a limitações nos investimentos em nova capacidade instalada e, também, devido ao fechamento de algumas minas existentes que não estavam de acordo coma legislação, cada vez mais restritiva, vigente. De acordo com projeções do DOE a participação do carvão térmico deverá apresentar ligeira queda no médio prazo cedendo espaço ao gás natural. No longo prazo no entanto, essa tendência deverá ser revertida em função do preço do gás. A demanda norte americana deverá crescer pressionada pelo consumo do setor de geração de eletricidade onde deverão ser adicionados 85.000MW até 2025.

A demanda por carvão térmico mundial deverá crescer de 445 Mt em 2002 para 543 Mt em 2015, sendo que a maior parte desse crescimento deverá ocorrer na Ásia.

Em termos de timing, o elevado crescimento da demanda asiática deverá ocorrer concomitantemente com a entrada em operação de novas usinas, particularmente no Japão. A importação da Europa deverá ser decrescente nesse período, em boa parte graças a penetração do gás natural. Outros fatores que irão afetar essa demanda são: a redução da produção doméstica na Comunidade Européia, o preço relativo entre os energéticos (gás, óleo, carvão), interconexões entre os países e novas descobertas de gás natural.

No Japão a demanda no longo prazo baseia-se nas usinas já em operação na base. A produção nacional deverá cessar com o fechamento das minas japonesas.

Existe ainda a proposta do governo japonês de introduzir uma taxa de carbono sobre os combustíveis fosseis a partir de 2005. Com tudo isso a demanda por carvão térmico importado no Japão deverá passar de 92,5 Mt em 2002 para 119 Mt em 2015, sendo a maior parte destinada a geração de eletricidade.

Na Coréia do Sul as projeções indicam um crescimento de 52,6 Mt em 2002 para 74,8 Mt em 2015. As importações de carvão térmico deverá crescer de 48,6 para 70,8 Mt em 2015. A demanda está concentrada na geração de eletricidade tal como acontece no Japão.

Outro mercado que deverá manter posição de destaque para o carvão térmico importado é Taiwan. A demanda por carvão para geração de energia elétrica nesse país deverá passar de 43,4 Mt em 2002 para 58 Mt em 2015.

Na Índia as reservas são de baixa qualidade e o uso de carvão importado para geração termelétrica tem sido restringido pelo uso de tarifas de importação. A produção doméstica indiana deverá continuar sendo capaz de atender a demanda nacional com previsão de que as importações complementem com 2% a 3% da demanda total. Tal como na China e em outros países em desenvolvimento o aumento da demanda por energia elétrica no médio prazo e a competitividade do carvão com os demais energéticos deverão favorecer a sua expansão na geração termelétrica.

É estimado também um crescimento da demanda na Turquia que deverá passar de 8,7 Mt em 2002 para 15 Mt em 2015, sendo a maior parte desse crescimento será destinada a geração termelétrica. De acordo com as projeções realizadas essa demanda deverá ser atendida pela produção doméstica e em boa parte por importações.

Na maioria dos países da Europa, o consumo de carvão deverá declinar no horizonte analisado.

4.2. NO BRASIL

As reservas de carvão mineral no Brasil somaram 32 bilhões de toneladas em 2004, e a produção foi de aproximadamente 5,4 milhões de toneladas, o que possibilitou a produção de 2.153 mil tep de energia a partir desta fonte fóssil. Do total de energia primária produzida internamente, pouco mais de 1% foi proveniente do carvão. Do total da produção nacional, 94% atendem à demanda de carvão vapor e o restante, à de carvão metalúrgico (BEN, 2005).

As reservas brasileiras de carvão mineral estão localizadas na região Sul, nos estados do Rio Grande do Sul, Santa Catarina e Paraná. O grande teor de cinzas in natura com camadas de pequenas

espessuras; as condições geológicas adversas; a capacidade de produção sub-utilizada e; os contratos de suprimento com o setor elétrico por curtos períodos (em torno de três anos) são fatores que aumentam os custos de produção e não estimulam esforços financeiros para implantação de novas tecnologias de lavra e beneficiamento.

Ainda que o carvão nacional seja de baixa qualidade, a disponibilidade de reservas dessa fonte fóssil conjugada com o desenvolvimento de tecnologias menos poluentes (clean coal technologies) e a crescente demanda por energia elétrica no país poderá fazer com que não se descarte a expansão das termelétricas a carvão no Brasil.

A potência instalada é de 1.415 MW, sendo que, no último Leilão de Energia de Novos Empreendimentos, a usina Candiota III, em Candiota – RS, foi negociada e irá disponibilizar mais 542 MW de capacidade.

As usinas térmicas a carvão no Brasil operam em condições de flexibilidade parcial determinada por take or pay nos contratos de compra de carvão mineral e por condicionantes técnicas (fator de capacidade mínimo da ordem de 40%). A sua inflexibilidade na operação pode ser minorada com a estocagem do carvão quando as condições hidrológicas favoráveis desaconselharem sua operação. Vale ressaltar que, seguindo a tendência mundial, as usinas térmicas brasileiras a carvão operam com as mesmas tecnologias da época de sua implantação e seus despachos, em condições flexíveis, induzem a custos variáveis mais elevados, reduzindo a sua disponibilidade, em razão de maior número de intervenções corretivas, elevando seus custos operacionais.

De acordo com a ANEEL, há ainda a possibilidade de construção de mais 2.714,5 MW (desconsiderando a usina Candiota III), já outorgados. (ver tabela 1)

Tabela 1 - Potência Outorgada para Usinas Térmicas a carvão mineral no Brasil

Usina	Potência Outorgada (kW)	Localização
Seival	542.000	Candiota - RS
Sul Catarinense	440.300	Treviso - SC
Jacuí	350.200	Charqueadas - RS
Concórdia	5.000	Concórdia - SC
Sepetiba	1.377.000	Itaguaí - RJ
Total	2.714.500	-

Fonte: BIG (Aneel, 2006)

As novas térmicas a carvão devem situar-se próximas às minas devido às características do carvão nacional, que possui elevado conteúdo de inertes, o que não justifica seu transporte. A proximidade das minas permite a utilização de carvão “in natura”, porém impõe ao sistema elétrico a necessidade de reforços ou expansão do sistema de transmissão para o escoamento de energia.

Adicionalmente, a construção e operação de futuras usinas devem se adequar a uma legislação ambiental caracterizada por elevado nível de exigências, resultado de crescente preocupação com o meio ambiente. Em geral, verifica-se uma tendência à elaboração de projetos em que a termelétrica está associada a uma indústria que aproveita subprodutos da termelétrica em sua produção, como por exemplo, de sulfato de amônia (via amônia). Estes subprodutos, quando comercializados, representam mais uma fonte de receita.

Tanto no Brasil como no resto do mundo, as principais barreiras ao aumento do uso do carvão para geração termelétrica devem ser relacionadas aos impactos ambientais. A superação dessas barreiras passa pelo desenvolvimento de novas tecnologias capazes de minimizar os impactos.

5. NOVAS TECNOLOGIAS

A expansão do carvão mineral na matriz elétrica brasileira pode ser importante, pois proporciona aumento da diversidade de fontes, com menores riscos de câmbio e de variações de preço, ao contrário do que ocorre com o petróleo e o gás natural. Adicionalmente, o grau de nacionalização dos equipamentos para usinas alimentadas a carvão é hoje maior do que o dos adotados na geração a gás, o que melhora a oportunidade de empregos e de geração de renda por esse setor.

Por outro lado, a queima de carvão em termelétricas causar graves impactos ambientais, em razão da emissão de material particulado e de gases poluentes, dentre os quais se destacam o dióxido de carbono (CO₂), o dióxido de enxofre (SO₂) e os óxidos de nitrogênio (NO_x).

As usinas existentes mundialmente estão na fase final de sua vida útil. Na Comunidade Européia, 50% da capacidade total de 600 GW estão acima de 25 anos e precisará ser substituída até 2030 enquanto nos Estados Unidos 80% das usinas têm mais de 20 anos de idade (CARVALHO, 2005).

Métodos e tecnologias efetivas para controle de emissões de SO₂ e NO_x já existem e a tendência é que pressões aumentem para redução de CO₂. O desenvolvimento e a aplicação das “clean coal technologies” conduzirá a uma diversidade de opções tecnológicas que permitirão emissões baixíssimas de qualquer tipo de poluente. As rotas tecnológicas mais importantes hoje são: combustão pulverizada super-crítica, combustão em leito fluidizado e gaseificação integrada a ciclo combinado (IEA, 2005). Além da busca pela redução de emissões de CO₂, existe um crescente interesse no uso de hidrogênio. A gaseificação é uma rota tecnológica que permite produzir eletricidade e outros produtos tais como, hidrogênio e produtos químicos.

Por exemplo, nos Estados Unidos, o projeto FutureGen orçado em US\$ 1 bilhão e que será implantado em 10 anos, é uma iniciativa do Departamento de Energia Americano para demonstrar uma planta de “emissões zero”, que usa carvão como combustível e a tecnologia de gaseificação integrada a ciclo combinado, produzindo hidrogênio e permitindo o seqüestro de carbono.

Em resumo, as principais tecnologias usadas para geração de eletricidade incluem (CARVALHO, 2005):

- Carvão Pulverizado (PF);
- Usinas supercríticas e ultrasupercríticas
- Combustão em Leito Fluidizado, à pressão Atmosférica (AFBC);
- Combustão em Leito Fluidizado, com Pressurização (PFBC); e
- Gaseificação Integrada com Ciclo Combinado (IGCC).

A tecnologia de carvão pulverizado é uma tecnologia comercial que pode ser usada na queima de carvões de baixa qualidade. Existem várias unidades na Espanha, no México e na Índia (carvões com qualidade equivalente às dos carvões nacionais) e nas UTEs Presidente Médici (Candiota), Jorge Lacerda e Charqueadas. Neste caso, o carvão é queimado sob a forma de partículas pulverizadas, o que aumenta substancialmente a eficiência da combustão e da conversão, conforme destaca a ANEEL.

É considerada uma “tecnologia de queima limpa de carvão” quando complementada por sistemas modernos de controle de NO_x, de dessulfurização de gases (FGD) e de remoção de material particulado. Os sistemas de FGD podem ser projetados para utilizar calcário ou amônia como absorventes (a remoção de enxofre pode chegar a 96% e a remoção de material particulado pode atingir 99,99%). A maior capacidade possível para uma caldeira única de carvão pulverizado está na faixa de 500 a 600 MW.

As caldeiras críticas e supercríticas de geração operam com níveis de temperaturas e pressão mais altas que as termelétricas convencionais, o que resulta em alta eficiência de conversão energética (pode chegar a 50%) e menor emissão de poluentes. O termo “Supercrítica” é uma expressão termodinâmica que descreve o estado de uma substância onde não há uma clara distinção entre a fase líquida e gasosa. O custo de capital de uma planta supercrítica gira em torno de 1.400 US\$/kW.

A tecnologia de combustão em leito fluidizado à pressão atmosférica (AFBC) é uma tecnologia comercial que pode ser utilizada com uma grande variedade de combustíveis, incluindo combustíveis sólidos de baixa qualidade. O leito fluidizado permite a queima do combustível em temperaturas relativamente mais baixas e, por isso, há menor produção de NO_x (em torno de 90% menos) no gás de saída. Caracteriza-se pelo uso de um material absorvente sólido em uma caldeira na qual o ar atmosférico e o combustível são introduzidos para combustão. O material sólido típico é o calcário, que torna possível um alto grau de remoção de enxofre. A remoção de enxofre fica tipicamente limitada à faixa de 90/92% e níveis de remoção de enxofre superiores a 95% podem ser tecnicamente viáveis, porém são menos econômicos devido ao significativo aumento da quantidade necessária de calcário e à redução da eficiência de queima da caldeira.

As caldeiras de CFB se tornaram a escolha tecnológica para combustíveis de baixa qualidade, particularmente na faixa de 150 MW. Atualmente, a capacidade máxima de módulo unitário de caldeira CFB está limitada em 250 a 350 MW, sendo a experiência muito limitada em unidades acima de 250 MW.

A combustão em Leito Fluidizado com Pressurização (PFBC) é uma tecnologia que começou a ser comercializada recentemente, com base em uma configuração AFB em ciclo combinado, e é também capaz de queimar combustíveis de baixa qualidade.

A Gaseificação Integrada com Ciclo Combinado (IGCC) é uma combinação de duas tecnologias já estabelecidas: a gaseificação do carvão, para a produção do combustível “syngas” (gás de síntese), e a tecnologia da turbina a gás em ciclo combinado (GTCC) para geração de eletricidade.

Nos sistemas IGCC o carvão não é queimado diretamente, mas aquecido num vaso pressurizado (gaseificador) contendo quantidade controlada de oxigênio (ou ar) e vapor de água. O gás produzido é uma mistura de CO, CO₂, CH₄ e H₂, que é purificada e queimada numa turbina a gás para gerar energia elétrica. O gás de combustão que sai da turbina, ainda a alta temperatura, é usado num gerador de vapor ligado a um turbo-gerador convencional.

Dentre os gaseificadores que se acham em desenvolvimento na época atual, o tipo mais adequado para o carvão de alto teor de cinzas é o de Leito Fluidizado Pressurizado Sem Formação de Escória (non-slugging, pressurized fluidized bed). Esta tecnologia de gaseificação de segunda geração está em demonstração no âmbito do Programa Tecnologia do Carvão Limpo do Departamento de Energia / Estados Unidos (Clean Coal Technology Program - DOE / US).

Enquanto a eficiência de uma termelétrica convencional a carvão é de 34%, em uma planta IGCC é de 45%, podendo chegar a 52% nas mais modernas. Além disso, a emissão de CO₂ é 35% menor que em uma planta convencional e a de NO_x chega a ser 90% menor. Em relação ao custo de investimento, para uma usina de 100 a 450 MW fica em torno de 1500 US\$/kW (CTA, 2006).

Atualmente existe uma quantidade muito menor de plantas de IGCC no mundo, comparativamente às plantas de carvão pulverizado, uma vez que as primeiras ainda são caras e complexas. O movimento de tendência das tecnologias existentes para as novas tecnologias “zero de emissões” significa incorporar sistema de captura de CO₂ e maiores custos para as tecnologias de carvão pulverizado e de IGCC. Os investimentos podem se tornar de 56 a 82% maiores no caso da primeira tecnologia e de 27 a 50% maiores no caso da segunda tecnologia.

As tabelas 2 e 3 resumem as principais características técnico-econômicas das tecnologias a carvão menos poluentes (clean coal technologies), segundo fontes diferentes.

Tabela 2 - Características Técnico-Econômicas – Atlas da Aneel

Tecnologia	Situação	Eficiência de Conversão (%)	Custo de Capital (US\$/kW)	Redução nas Emissões (%)	
				NO _x	SO _x
Combustão Pulverizada	Comercial	38-47	1300-1500	-	-
Leito Fluidizado*	Com/Dem	34-37	1450-1700	90-95	60
Leito Fluidizado**	Com/Dem	37-39	1450-1700	90-95	60
Leito Fluidizado***	Demonstrado	42-45	1450-1700	98-99	70
Gaseificação Integrada	Demonstrado	45-48	1450-1700	92-99	98-99

Notas: (*) Pressão atmosférica (**) Circulação (vapores sub e supercríticos) (***) Pressurização (vapores sub e supercríticos)

Fonte: Atlas da Aneel

Tabela 3 - Características Técnico-Econômicas – Universidade de Chicago

Tecnologia	Custo de capital (US\$/kw)	Custo de combustível (US\$/Mwh)	Custos totais de operação e manutenção (US\$/Mwh)	Tempo de construção (anos)	Eficiência (%)
Combustão Pulverizada	1189	11,26	7,73	4	36
Combustão Pulverizada	1119	11,26	6,52	4	36
Leito Fluidizado	1200	12,04	5,87	4	34
IGCC	1338	9,44	5,19	4	43

Fonte: Universidade de Chicago

Das principais tecnologias para geração de energia a partir do carvão, as tecnologias de leito fluidizado e do carvão pulverizado são consideradas, no momento atual, as mais viáveis para utilização do carvão nacional. Em vista de se encontrar ainda em fase de desenvolvimento e de ter custos mais elevados em comparação com a CFB e o PF, a opção IGCC não deve ser considerada ainda para introdução no Brasil (CARVALHO, 2005).

Deste modo, novas usinas deverão ser contempladas considerando uma das seguintes tecnologias:

Carvão Pulverizado (PF) com dessulfuração de gás de combustão com base em calcário ou amônia (FGD)

Combustão em Leito Fluidizado à pressão Atmosférica (AFBC)

Beneficiamento do Carvão (BC) e Combustão em Leito Fluidizado, à pressão Atmosférica (AFBC)

Combustão em Leito Fluidizado à pressão Atmosférica (AFBC) e com dessulfuração de gás de combustão com base em amônia (FGD)

Além da evolução nas tecnologias de processamento do carvão para produção de energia, os processos de beneficiamento de carvão para remoção de enxofre e cinzas antes da sua combustão também contribuem para a redução de emissões. Para se obter eficácia em custo, deve ser selecionado um processo tal que se obtenha uma redução nos níveis de enxofre e cinzas sem uma perda desproporcional do produto (toneladas de carvão) e sem custos excessivos de capital e de operação. As novas tecnologias que vêm sendo introduzidas são mais apropriadas à queima direta, dispensando as etapas de beneficiamento.

No caso do carvão de Santa Catarina e Paraná o beneficiamento do carvão resulta em rejeitos com alta concentração de enxofre e que podem causar danos ao meio ambiente, caso não sejam convenientemente dispostos, o que eleva significativamente os custos de operação. No caso de Candiota, testes e análises executados para avaliar o potencial de beneficiamento concluíram que o processo é ainda anti-econômico, devido principalmente às propriedades higroscópicas do carvão da região.

Considerando-se a expansão do setor de geração termelétrica a carvão no Paraná, deve-se ter em conta que as reservas da região têm elevado teor de enxofre, o que implica na necessidade de instalação de equipamentos e uso de produtos redutores de emissões de teor de enxofre. Em torno de 76% do carvão beneficiado são recuperados na região e a potência de uma nova usina é limitada pela reserva de carvão existente (reservas em 2000: 95,4 milhões de toneladas). O tipo de tecnologia mais indicado seria a de leito fluidizado associado ao beneficiamento do carvão ou à dessulfuração de gás de combustão.

No caso de Santa Catarina, as minas de carvão são subterrâneas e a extração deve ser mecanizada, o que torna o seu custo elevado. Neste caso, a potência das minas é limitada pela tecnologia. A região de Santa Catarina caracterizou-se, no passado, pela mineração sem preocupação com o meio ambiente, o que resultou em um passivo ambiental significativo que deve ser recuperado. A degradação ambiental pode ser eliminada pela utilização dos rejeitos com elevada concentração de enxofre em uma mistura com carvão energético, originário de nova produção, como combustível em usinas termelétricas. A tecnologia recomendada para os projetos na região é a de leito fluidizado com dessulfuração de gás com amônia, cuja capacidade máxima unitária da caldeira é limitada entre 250 e 350 Mw. Como existe pouca experiência comprovada internacionalmente com unidades acima de 250Mw, é recomendada a instalação de módulos unitários com capacidade de até 250Mw.

O projeto USITESC, que será implantando em Santa Catarina, integra mineradoras, usina térmica de geração de eletricidade, indústrias que usam cinzas de termelétricas e que produzem fertilizantes.

No Rio Grande do Sul as minas são geralmente a céu aberto, o que reduz o custo de extração do carvão. Os projetos de geração termelétrica de maior competitividade localizam-se junto às áreas de extração e próximos à fronteira com o Uruguai, onde a legislação ambiental é mais rigorosa quanto às emissões. A região carbonífera próxima a Porto Alegre, junto ao Baixo Jacuí, pela densidade populacional e a concentração industrial, exigem, também, maiores investimentos para implantação de projetos de geração de energia elétrica. Para a Região de Candiota, as tecnologias atuais que mais se adaptam, do ponto de vista econômico, são a de Carvão Pulverizado (PC) com dessulfuração de gás de combustão e Leito Fluidizado Atmosférico (AFBC).

A maior capacidade possível para uma caldeira única de carvão pulverizado (PC) está na faixa de 500 a 600 MW e é adequada do ponto de vista de benefícios por economia de escala nos custos de mineração, capital e operação.

A dessulfuração de gás de combustão (FGD) utilizada nos projetos pode ser com calcário da região e do Uruguai ou com amônia importada. Além disso, como subprodutos são obtidos o sulfato de

amônia e o gesso e o sulfato de amônia que podem ser comercializados no país e exportado, tornando-se insumos para a instalação de um pólo industrial na região. A Região do Baixo Jacuí apresenta características de extração de carvão a céu aberto, porém, as minas são mais profundas que as de Candiota, o que reflete no preço do produto extraído.

A tabela 4 apresenta a origem do carvão empregado em cada usina térmica brasileira, assim como o preço pago por cada um deles.

Tabela 4: Origem do carvão empregado e preços

Usina	Contrato (t/mês)	Fornecedor	Mina	Preços em maio de 2005 (R\$/t)	Data do reajuste
Presidente Médici	133.333	CRM	Candiota	40,63	Abril
São Jerônimo	6.500	CRM	Leão I	100,06	Maio
Jorge Lacerda	200.000	CCCE	SIECES C	138,68	Setembro
Charqueadas	28.886	COPELMI	Recreio	68,69	Maio
Figueira	6.500	CAMBUÍ	CambuÍ	208,49	Janeiro

Obs: CRM: Companhia Rio Grandense de Mineração

CCCE: Consórcio Catarinense de carvão energético

Fonte: CARVALHO, 2005.

Além das usinas Seival e USITESC, existem outros projetos concretos de suprimento de energia a partir do carvão (tabela 5, conforme estudo do Ministério de Minas e Energia (CARVALHO, 2005).

Tabela 7: Perspectivas concretas de projetos

Nome/Empresa	Localização	Potência (Mw)	Custo EPC (milhões US\$)
Jacuí/ELEJA	Charqueadas-RS	357	300
Candiota III /CGTEE	Candiota -RS	350	280
CTSul (CTSul)	Cachoeira do Sul - RS	650	750
CTSUL II (CTsul)	Cachoeira do Sul -RS	325	375
Figueira II (Copel ECC)	Figueira -PR	126	120
		2810	1845

Fonte: CARVALHO, 2005

BARREIRAS À EXPANSÃO DO CARVÃO

Existe uma grande incerteza relacionada à possíveis restrições ambientais que afetariam a demanda por carvão no mundo todo. Nos EUA, por exemplo, estão em discussão programas para restringir as emissões de mercúrio, particulados finos e gases de efeito estufa para serem aprovadas pela US Environmental Protection Agency e pelo Congresso, adicionando restrições àquelas já vigentes pelo Clean Air Act Amendments.

No Japão, em 2002 o governo anunciou que passaria a introduzir um imposto sobre o carvão importado. Esse imposto começou a ser cobrado em outubro de 2003 (230 Yer/ton, aumentando para 460 Y/ton em abril de 2005 e passando para 700 Y/t em abril de 2007)!

Ainda que o carvão permaneça como um importante energético para as economias de muitos países, o seu maior desafio consiste na redução dos impactos ambientais. Métodos efetivos já existem para controlar poluentes tais como óxidos sulfúricos e de nitrogênio (SO₂ e NO_X) e particulados. Não obstante os enormes esforços para redução das emissões as pressões ambientais tem aumentando principalmente sobre a queima dos combustíveis fósseis para geração de eletricidade, que são

responsáveis por em torno de um terço das emissões totais de CO₂ e são candidatos para aplicação de técnicas emergentes de armazenamento e seqüestro de carbono.

Com poucas exceções a maior parte dessas tecnologias existentes ainda não foi aplicada e dependem de ganhos de escala para permitir reduções de custos que tornem a sua implantação viável. Mais do que isso em muitos países ainda não há um arcabouço legal que estabeleça regras que permitam que esses investimentos possam ser recuperados de alguma forma.

Como a demanda por eletricidade continua crescente, países em desenvolvimento e desenvolvimento continuam utilizando suas reservas abundantes e os níveis de CO₂ deverão continuar crescendo.

Os sistemas de energia do futuro deverão ser baseados em um mix de tecnologias avançadas, limpas e eficientes tanto na geração como no uso da energia. Para tanto, a participação das fontes renováveis deverá ser crescente em boa parte reforçada pelas restrições de emissões de gases de efeito estufa. O carvão permanecerá como um importante energético nas próximas décadas, com forte crescimento nos países em desenvolvimento. A redução do seu impacto ambiental é viável a partir da aplicação de novas tecnologias (Clean Coal Technologies). A evolução dessas levará a tecnologias de emissões zero ou próximas de zero.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Não restam dúvidas sobre o aumento da demanda por energia no mundo e sobre a necessidade de segurança de suprimento como um fator indispensável ao desenvolvimento das nações. Considerações ambientais serão cada vez mais restritivas em uma visão global. Ainda assim, a matriz energética mundial deverá permanecer fortemente dependente dos combustíveis fósseis nas próximas décadas.

A combinação desses fatores sinaliza em direção ao desenvolvimento de novas tecnologias e novos contornos para as políticas energéticas em todo o mundo. As tecnologias limpas de geração a carvão apresentam um enorme potencial para atender às essas exigências e serão de fundamental importância nas regiões onde as plantas existentes poderão ser incrementadas com a instalação de sistemas de seqüestro de CO₂ bem como nas economias em desenvolvimento onde a demanda por eletricidade deverá crescer a taxas mais significativas.

Mais do que isso tanto o carvão como o próprio gás natural podem se transformar em alternativas de transição para uma economia do hidrogênio no longo prazo.

Naturalmente a evolução das tecnologias e a viabilização do uso do carvão com menores impactos ambientais prescinde de políticas e estratégias que deverão ser implantadas nos próximos anos.

No Brasil os desafios da expansão do acesso aos serviços de energia elétrica, da garantia de suprimento e da modicidade tarifária, pilares do novo modelo institucional, levam ao planejamento energético nacional a consideração de todas as fontes de energia. A visão global de fortalecimento da geração a carvão reafirma a necessidade de estudos e pesquisas para o aproveitamento do carvão no Brasil.

BIBLIOGRAFIA

- CARVALHO, C.H.B., 2005. Oportunidades de negócios no setor elétrico com o uso do carvão mineral nacional. Apresentação. Ministério de Minas e Energia. Brasília.
- CTA, 2006. Carvão, Gaseificação, IGCC. Disponível em <http://www.ieav.cta.br/hpenu/yuji/carvao.html>. Acesso em 27/03/2006.
- DOE. Energy Information Administration. International Energy Outlook, 2005. <http://www.eia.doe.gov/oiaf/ieo/index.html>
- EIA. International Energy Outlook. 2005. Disponível em <http://www.eia.doe.gov>
- IEA. Coal Industry Advisory Board. Investment in Coal Supply and Use. An industry perspective on IEA World Energy Investment Outlook. 2005.
- IEA. Coal information. OECD. 2005
- IEA. Roadmapping coal's future. Zero Emissions Technologies for fossil fuels. Working party on fossil fuels – Coal industry advisory board. 2005.
- LEHMAN BROTHERS. Global Equity Research. Coal: excellent energy value in the ground. 114 p. February, 2006.
- MME. Balanço Energético Nacional, 2005.