

NOTA TÉCNICA DPG-SPT-E&P Nº 05/18

# Estudo Regional da Porção Gaúcha da Bacia do Paraná

## Parte 2 - Análise sobre o Potencial do Metano de Carvão

Rio de Janeiro  
Setembro de 2018



MINISTÉRIO DE  
MINAS E ENERGIA



(Esta página foi intencionalmente deixada em branco para o adequado alinhamento de páginas na impressão com a opção frente e verso - "*double sided*")



**GOVERNO FEDERAL**  
**Ministério de Minas e Energia**

**Ministro**

Wellington Moreira Franco

**Secretário Executivo**

Marcio Felix Carvalho Bezerra

**Secretário de Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis**

João Vicente de Carvalho Vieira



Empresa de Pesquisa Energética

*Empresa pública, vinculada ao Ministério de Minas e Energia, instituída nos termos da Lei nº 10.847, de 15 de março de 2004, a EPE tem por finalidade prestar serviços na área de estudos e pesquisas destinadas a subsidiar o planejamento do setor energético, tais como energia elétrica, petróleo e gás natural e seus derivados, carvão mineral, fontes energéticas renováveis e eficiência energética, dentre outras.*

**Presidente**

Reive Barros dos Santos

**Diretor de Estudos do Petróleo, Gás e Biocombustíveis**

José Mauro Ferreira Coelho

**Diretor de Estudos Econômico-Energéticos e Ambientais**

Thiago Vasconcellos Barral Ferreira

**Diretor de Estudos de Energia Elétrica**

Amilcar Gonçalves Guerreiro

**Diretor de Gestão Corporativa**

Álvaro Henrique Matias Pereira

<http://www.epe.gov.br>

**Sede**

Esplanada dos Ministérios Bloco "U"  
Ministério de Minas e Energia - Sala 744 - 7º andar  
Brasília - DF - CEP: 70.065-900

**Escritório Central**

Av. Rio Branco, n.º 01 - 11º Andar  
20090-003 - Rio de Janeiro - RJ

NOTA TÉCNICA DPG-SPT-E&P Nº

05/18

## Estudo Regional da Porção Gaúcha da Bacia do Paraná

### Parte 2 - Análise do Potencial do Metano de Carvão

**Diretoria de Estudos do Petróleo,  
Gás e Biocombustíveis**

**Superintendência de Petróleo**

**Coordenação Geral**

José Mauro Ferreira Coelho

**Coordenação Executiva**

Marcos Frederico Farias de Souza

**Coordenação Técnica**

Regina Freitas Fernandes

**Equipe Técnica**

Pamela Cardoso Vilela

Roberta de Albuquerque Cardoso

Rio de Janeiro  
Setembro de 2018

(Esta página foi intencionalmente deixada em branco para o adequado alinhamento de páginas na impressão com a opção frente e verso - "*double sided*")

## SUMÁRIO

<b>Introdução .....</b>	<b>7</b>
<b>Objetivo.....</b>	<b>7</b>
<b>1 A Origem do Carvão Mineral e Classificações .....</b>	<b>8</b>
<b>2 Metano de Carvão: conceitos fundamentais .....</b>	<b>10</b>
2.1 Sistema Petrolífero Não Convencional em Camadas de Carvão.....	11
2.2 Tecnologias de Exploração e Produção do Metano de Carvão.....	13
2.2.1 Jazidas Virgens .....	14
2.2.2 Minas Ativas .....	18
2.2.3 Minas Abandonadas .....	19
2.3 Usos do Metano de Carvão .....	20
<b>3 O Potencial de Metano de Carvão .....</b>	<b>21</b>
3.1 Reservas Mundiais de Metano de Carvão .....	21
3.2 Metano de Carvão na porção gaúcha da Bacia do Paraná .....	21
<b>4 Conclusões .....</b>	<b>24</b>
<b>Referências Bibliográficas.....</b>	<b>25</b>

## ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1: Vantagens e desvantagens dos diferentes tipos de jazidas de metano de carvão.....	19
Tabela 2: Uso do metano de carvão de acordo com o tipo de jazida.....	20

## ÍNDICE DE GRÁFICOS

Figura 1: Esquema das camadas de carvão e os estágios de formação.....	12
Figura 2: Representação gráfica da geração de metano de carvão em relação ao tipo de carvão.....	13
Figura 3: Comparação entre a produtividade de poços de gás natural convencional e de gás de metano. .....	<b>Erro! Indicador não definido.</b>
Figura 4: Poço vertical em jazidas de carvão de menor grau de carbonificação (EUA).....	15
Figura 5: Poço vertical em jazidas de carvões de alto grau de carbonificação (EUA). ....	16
Figura 6: Equipamento móvel de perfuração.....	<b>Erro! Indicador não definido.</b>
Figura 7: Perfuração horizontal nas diversas situações: A) Poço de grande afastamento lateral; B) Perfuração de mais de um poço por locação; C) Exploração em locais de difícil acesso. ....	17
Figura 8: Poço horizontal em jazida de carvão de alto grau de carbonificação (EUA). ....	18
Figura 9: Mapa de ocorrência dos depósitos de carvão e as principais jazidas na porção gaúcha da Bacia do Paraná.....	21

## INTRODUÇÃO

A presente Nota Técnica é parte integrante de uma série de estudos regionais a serem realizados pela Empresa de Pesquisa Energética (EPE), com base no Zoneamento Nacional de Recursos de Óleo e Gás (ZNMT). O ZNMT é um estudo que abrange todas as bacias sedimentares brasileiras com algum potencial petrolífero, para as quais é realizado um estudo geológico a partir da análise de *plays* exploratório, além da verificação de aspectos econômicos relacionados às atividades exploratórias e de infraestrutura de abastecimento. Desse modo, é possível obter avaliações regionais que permitam a inclusão das especificidades locais.

No caso da Porção Gaúcha da Bacia do Paraná, o estudo está sendo realizado em 3 (três) partes:

Parte 1: Análise do ZNMT – Ciclo 2017. No âmbito do ZNMT, a Bacia do Paraná foi estudada segundo a abordagem de análise de bacias, para avaliação de recursos convencionais, além da indicação de recursos não convencionais. Para os recursos convencionais foram definidos *plays* exploratórios a partir da identificação dos componentes geológicos que os compõem: carga (geração e migração), reservatório e trapa (selo e a estrutura trapeadora). Para os recursos não convencionais, além do betume e óleo de folhelho, foram indicadas áreas de possível ocorrência de outros 2 tipos de recursos (gás de folhelho – *shale gas* - e metano de carvão - *coalbed methane*). Também são apresentados os mapas de Importância Petrolífera de Áreas (IPA) para a região. A Parte 1 do estudo foi publicada como Nota Técnica DPG-SPT-E&P Nº 01/18, em 12 de janeiro de 2018 (EPE, 2018).

Parte 2: Análise sobre o potencial de metano de carvão. Realização de estudo de revisão sobre o potencial do metano de carvão com base em informações atuais. Nesta análise serão dadas ênfases aos conceitos principais relacionados à geração e armazenamento deste recurso, e, conseqüentemente ao potencial brasileiro, que se apresenta na porção gaúcha da Bacia do Paraná.

Parte 3: Análise das bacias limítrofes. Atualização das informações utilizadas no ZNMT com respeito as bacias sedimentares argentina (Bacia do Chaco-Paraná) e uruguaia (Bacia Norte/Bacia do Paraná) que fazem fronteira com a Bacia do Paraná.

Esta Nota Técnica tratará especificamente da Parte 2: Análise do Potencial do Metano de Carvão.

## OBJETIVO

O objetivo do presente documento é apresentar os conceitos fundamentais sobre a geração e armazenamento do metano de carvão, e fornecer uma atualização sobre o potencial deste recurso na porção gaúcha da Bacia do Paraná.

## 1 A ORIGEM DO CARVÃO MINERAL E CLASSIFICAÇÕES

O carvão mineral é uma rocha sedimentar originada pela decomposição de material orgânico vegetal, como folhas, caule, galhos, sementes, esporos, pólen e outras partes de plantas aquáticas e terrestres, depositados em águas rasas, em ambiente de baixo teor de oxigênio.

O processo de geração do carvão mineral necessita de um processo de subsidência suave do ambiente deposicional, proporcionando a degradação biológica e química, através da exposição à pressão e temperatura mais elevadas. Assim, o carvão mineral é composto por alto teor de carbono (55% a 95%), e em menores quantidades, por outras substâncias como o enxofre, nitrogênio, oxigênio e hidrogênio, e é classificado quimicamente em função do teor de carbono (carbonificação), do menor para o maior teor de carbono, em (CPRM, 2014):

- turfa - 55% a 60% de carbono, baixo poder calorífico (menor que 4.000 quilocalorias), tem a característica de permitir claramente a identificação dos restos vegetais;
- linhito - 67% a 78%, amarronzado, mais leve, apresenta grande quantidade de oxigênio e baixo teor de carbono fixado. Não muito eficiente em relação a energia produzida por massa de carvão;
- hulha ou carvão betuminoso- 80% a 90%, carvões negros de alta densidade;
- antracito: 96% de carbono. São carvões relativamente incomuns, com grande quantidade de energia por massa de carvão e de queima relativamente mais limpa.

Após a geração da turfa, a compactação devido ao soterramento contínuo faz com que ocorra a expulsão de H<sub>2</sub>O e, conseqüentemente de CO<sub>2</sub> e outros hidrocarbonetos, entre eles o metano (KALKREUTH *et al*, 2008). Com isso a turfa é convertida em carvão em um processo denominado maturação.

Segundo ALL (2005), os carvões de menor grau de carbonificação, sofreram, durante sua formação, menor efeito da compressão, resultando em maiores espessuras e teores de água, que nessa fase ainda não foi expulsa da jazida, além de menores teores de carbono devido a uma menor conversão da matéria orgânica. O antracito, no entanto, apresenta-se como o oposto, por apresentar maior grau de carbonificação e, conseqüentemente, de teor de carbono e menores espessura e teor de água.

Mais da metade das reservas mundiais de carvão mineral conhecidas são do Período Cretáceo. Os carvões do Carbonífero totalizam 23,74% das reservas mundiais; e os do Permiano, 16,91%, que inclui os carvões brasileiros (CPRM, 2014).

Historicamente associado à Revolução Industrial, há uma década, o carvão se apresentava como um combustível extremamente importante e como o mais usado em geração elétrica no mundo, sendo responsável por cerca de 7,9% de toda a produção mundial de energia (ANEEL, 2008). Atualmente, com maior disponibilidade e competitividade do gás natural e de combustíveis renováveis e pressões da sociedade mundial pelo uso de energias limpas, o carvão vem perdendo sua importância na geração de energia de maneira global (BP, 2017). O consumo global de carvão mineral também vem reduzindo gradualmente por dois anos seguidos, com uma redução de 1,7% em 2016, principalmente nos EUA e China (BP, 2017).

A produção mundial de carvão mineral teve sua maior queda já registrada em 2016, cerca de 6%, segundo BP (2017), principalmente na China, onde foram aplicadas medidas governamentais para redução da produção do carvão mineral, levando os preços a níveis muito elevados, afetando o mercado mundial.

Na Grã-Bretanha BP (2017) também observou um forte movimento para redução das operações relacionadas ao carvão mineral. Com a implementação do UK's Carbon Price Floor em 2015, as últimas três minas subterrâneas de carvão foram fechadas. Assim, desde abril de 2017, a Grã-Bretanha apresenta seu setor energético livre do carvão.

Apesar do cenário apresentado, a utilização do carvão na geração de energia ainda é expressiva. Segundo a EIA (2017), nos EUA, o carvão mineral contribuiu com cerca de 30% da geração de eletricidade, sendo a segunda maior fonte de energia em 2016.

Uma característica do carvão, além da oferta e da relativamente boa distribuição do recurso, é que esta *commodity* tem registrado movimentos suaves nos preços ao longo das décadas, mesmo com o cenário de ascensão do gás natural e dos renováveis, ou seja, as cotações não apresentam a extrema volatilidade que o petróleo por exemplo. Apesar das condições atuais, vale ressaltar algumas características do carvão mineral como recurso energético:

i) abundância das reservas:  $10^3$  bilhões de toneladas de reservas provadas, com vida útil de 109 anos (BP, 2017; DNPM, 2013);

ii) boa distribuição geográfica mundial das reservas: as jazidas de carvão estão localizadas, principalmente, em 75 países (DNPM, 2013), sendo que Estados Unidos, Rússia, China, Austrália e Índia detêm 60% do volume total;

A reserva lavrável do carvão mineral brasileiro de  $2.771 \cdot 10^6$  toneladas, corresponde a 0,3% da reserva lavrável mundial, com uma produção de  $7.500 \cdot 10^6$  toneladas, em 2014 (DNPM, 2015). Da produção em 2014, cerca de 70% é destinado a uso em siderúrgicas e 30% a uso energético.

Segundo a publicação da BP (2017), as reservas provadas brasileiras de carvão em 2016 contabilizaram aproximadamente  $1.547 \cdot 10^6$  toneladas de antracito e betuminoso e  $6.596 \cdot 10^6$  de sub-betuminoso e linhito representando no total 47% das reservas da América do Sul e cerca de 5% das reservas mundiais.

De 2006 a 2012, a produção brasileira de carvão mundial manteve uma média de  $2,5 \cdot 10^3$  toneladas de óleo equivalente, apresentando um crescimento a partir de 2012, chegando a  $3,5 \cdot 10^3$  toneladas de óleo equivalente em 2015 (BP, 2017).

Os fatores de aquecimento do setor nos últimos anos foi o retorno, em 2013, do carvão nos leilões de energia A-5 da Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) para contratação nova de fornecimento de energia. A partir daí observa-se um crescimento da produção de carvão mineral, quando a produção brasileira teve um desempenho positivo (aumentou 11,7%) e esperado pela indústria carbonífera, comparada à 2012.

No Brasil, o carvão mineral participa com 5,5% da oferta interna de energia e com cerca de 12% no consumo da indústria, segundo o Balanço Energético 2016 (EPE, 2017a). Em 2016, o carvão e seus derivados contribuíram com 11% da geração de energia elétrica no País.

Estima-se que no Brasil a substituição das termelétricas a carvão nacional com baixa eficiência por usinas mais modernas permitiria um aumento de, aproximadamente, 340 MW, o que resultaria em uma potência instalada total da ordem de 1.735 MW, mantendo os mesmos montantes de emissão das usinas disponíveis atualmente (EPE, 2017b). Cabe destacar, entretanto, que na indisponibilidade de gás natural, principalmente por eventuais restrições de infraestrutura de oferta, ou cenários mais restritivos para os aproveitamentos hidrelétricos, a opção pelo carvão mineral possa se apresentar como solução alternativa de expansão.

Segundo EPE (2017b), as usinas térmicas a carvão nacional possuem algumas vantagens em relação às de combustível gás natural/gás natural liquefeito por possuírem baixo custo variável unitário<sup>1</sup> (CVU), além da existência de imensas reservas provadas. No entanto, esse tipo de usina tem contra si uma elevação no nível de emissões de gases causadores do efeito estufa (GEE), se comparada com outras alternativas, além das dificuldades de financiamento junto ao BNDES. Novas tecnologias ambientalmente sustentáveis para o carvão mineral estão sendo buscadas, como captura de carbono (CCS) e gaseificação do carvão (IGCC), e acredita-se que poderão estar mais maduras e competitivas ao longo do tempo.

## 2 METANO DE CARVÃO: CONCEITOS FUNDAMENTAIS

Os gases associados às camadas de carvão (metano >92%, etano, propano e butano, CO<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>) podem ter geração biogênica ou termogênica. Os gases biogênicos tem composição de CH<sub>4</sub> (metano) e CO<sub>2</sub> e são formados a partir da decomposição de matéria orgânica sob efeito geológicos atuantes. Para ocorrer a geração e preservação do gás metano nas camadas de carvão são necessárias algumas condições específicas: ambiente anóxico, baixa concentração de sulfatos, baixa temperatura, abundância de matéria orgânica, elevado pH, porosidade adequada e elevada taxa de sedimentação (BUTLAND, 2006, *apud* BONETTI, 2017). Os gases termogênicos são gerados através da influência de elevadas temperaturas de intrusões ígneas em rochas ricas em matéria orgânica com potencial para geração de hidrocarbonetos. A geração do metano se dá no início da catagênese<sup>2</sup>, proveniente do craqueamento das moléculas de carvão e aumenta com a evolução térmica. Segundo Kalkreuth *et al.* (2013), o metano gerado nas camadas de carvão brasileiras, especificamente na região sul do País, tem origem biogênica e termogênica.

O metano de carvão encontra-se adsorvido na matriz sólida do carvão e pode ser liberado naturalmente, o que, neste caso, representa uma ameaça de explosões (ÚBEDA, 2008; ROCHA, 2016). O gás liberado naturalmente durante a mineração é chamado *grisu*, em francês ou *fiiredamp*, em inglês. A terminologia metano de carvão é dada para o gás que é extraído nos estratos de carvão (ROCHA, 2016). O metano de carvão caracteriza-se por conter pequenas proporções de hidrocarbonetos pesados (propano, butano), e não apresentar fases condensadas, podendo ser classificado como: i) *sweet gas*<sup>3</sup>, na ausência de sulfetos de hidrogênio, e ii) seco e não associado (HALLIBURTON, 2008).

O metano de carvão é geralmente produzido em pequenas profundidades (tipicamente entre 300 m e 600 m, chegando a cerca de 1500 m) através de um poço que permita que o gás e a água possam ser produzidos. Segundo Su (2005), o metano de carvão pode ser aproveitado através da ventilação do ar em minas em operação ou ser drenado de poços antes da mineração do carvão ou em minas já operadas.

Segundo DTI (2001), com relação à produção de metano de carvão, os fatores determinantes para que um projeto obtenha sucesso são apresentados a seguir:

- sistema de drenagem de gás capaz de absorver os volumes produzidos;

---

<sup>1</sup> CVU – preço do combustível indexado somente a moeda nacional.

<sup>2</sup> Os processos envolvidos na evolução térmica das rochas são: 1) diagênese – ocorre decomposição bioquímica da matéria orgânica, gerando metano biogênico. O aumento da pressão e temperatura converte a matéria orgânica em querogênio; 2) catagênese - O aumento da pressão e temperatura alteram o querogênio em um processo chamado craqueamento, tornando essa a principal fase de geração de óleo e gás úmido; 3) metagênese – continua o processo de craqueamento, agora de moléculas maiores, gerando o gás natural, principalmente sob a forma de metano (GAUTO, 2016).

<sup>3</sup> A classificação em *sweet* e *sour gas* baseia-se na concentração de H<sub>2</sub>S (relativamente baixa para *sweet gas*, < 5.7 miligramas, e superiores para *sour gas*). O metano de carvão é caracterizado como gás seco não associado, devido à ausência de fase líquida (óleo) e de condensado.

- sustentabilidade da produção de carvão e do recolhimento do gás;
- disponibilidade de gás das áreas de produção;
- infraestrutura adequada para uso do gás produzido;
- incentivos ao uso de metano de carvão.

Apesar da exploração e produção do metano de carvão ser relativamente nova na indústria petrolífera mundial, há muito se reconhecia a existência deste gás no início da exploração de minas de carvão, pois mostrava-se como um risco operacional importante. O gás metano é liberado em altas concentrações (maior que 50.000 ppm) no ambiente, durante o processo de mineração do carvão e quando misturado com o ar, torna-se potencialmente inflamável. Com o intuito de minimizar o risco de acidentes, a recuperação do metano de carvão acontece junto com as operações de mineração do carvão em todos os grandes países produtores de carvão (CASAGRANDE, 2010). Assim, o aproveitamento do metano com fins energéticos auxilia na redução de acidentes em minas de carvão (BONETTI, 2017).

## 2.1 Sistema Petrolífero Não Convencional em Camadas de Carvão

Os sistemas petrolíferos de metano de carvão diferem dos demais sistemas não convencionais de gás natural por ter no processo de adsorção o principal mecanismo de acumulação de gás: ao invés de acumular nos espaços vazios entre os grãos (porosidade), o metano de carvão está contido no interior das jazidas devido à pressão hidrostática do meio, estando adsorvido à superfície dos grãos ( Figura 1), em microporos, devido às propriedades de sua matriz<sup>4</sup> (ROCHA, 2016).

O carvão mineral apresenta também baixa permeabilidade, retendo o fluido na própria litologia, atuando como rocha geradora, reservatório e selante, assim como o sistema petrolífero de gás de folhelho (ALUKO, 2001; ROCHA, 2016). A geração de gás em carvão resulta da maturação da matéria orgânica, predominantemente de origem vegetal, devido ao contínuo processo de soterramento e compactação, durante a subsidência da bacia sedimentar, resultando em condições mais elevadas de pressão e temperatura (HALLIBURTON, 2008; EPE, 2013; ROCHA, 2016).

O carvão tem dupla porosidade devido à presença de macroporos (*cleats*) circundando a matriz com microporos (GAMSON *et. al*, 1996). Embora grande parte do gás esteja nos microporos, a permeabilidade nesse local é muito baixa (GRAY, 1987), com valores em torno de 1mD (WANG, 2007), isto é, em faixas de valores próximas ao gás em formação fechada. Porém, quanto maior a microporosidade do carvão, maior a área superficial e, maior a capacidade de armazenamento de gás (CHALMERS & BUSTIN, 2007).

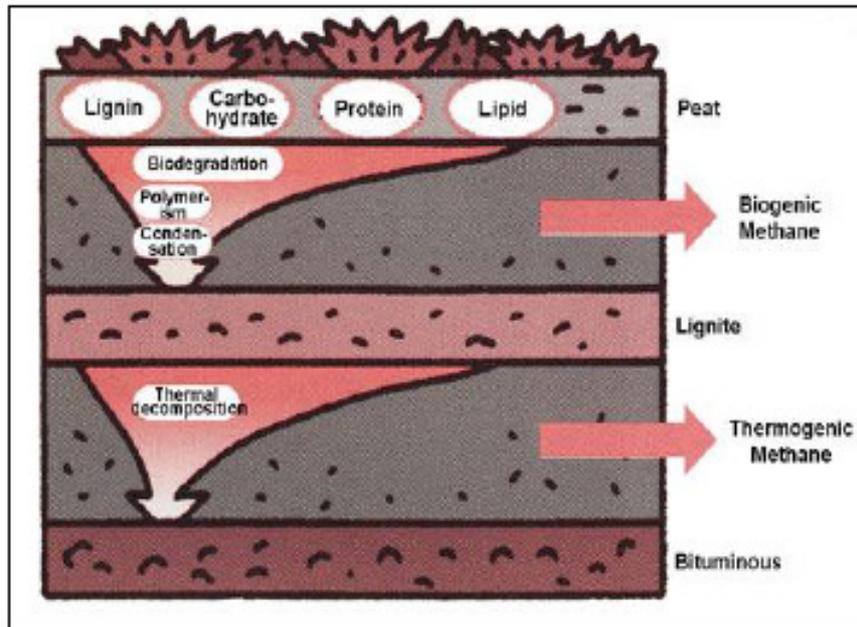
O metano de carvão tem sua geração associada aos processos de termogênese e biogênese. O metano originado em estágios iniciais da formação do carvão, como linhitos, é decorrente do processo de biogênese (decomposição bioquímica), o qual consiste na quebra de moléculas de hidrocarbonetos devido a ação bacteriana. Além da atuação desse processo, também ocorre a geração de gás termogênico associado a estágios mais avançados de maturação termal (ROCHA, 2016).

O gás que ocorre no carvão mineral, principalmente metano (CH<sub>4</sub>)<sup>5</sup> está relacionado à matéria orgânica de vegetais superiores, do tipo lenhoso, (tecidos vegetais, resíduos fibrosos e fragmentos húmicos), querogênio Tipo III, com baixo teor de hidrogênio, mas elevado em oxigênio, havendo um maior potencial

<sup>4</sup> Esta matriz é rica em matéria orgânica, com a capacidade de reabsorver moléculas de gás que foram geradas no sistema. Desta forma, as moléculas de gás se apresentam associadas à matriz do carvão mineral, acumulando-se nas superfícies do sistema caracterizando a propriedade de adsorção (Rocha, 2016).

<sup>5</sup> Apesar de quimicamente não haver distinção, para efeitos de normatização, o gás metano (CH<sub>4</sub>) não é chamado de natural, mas pelo nome tradicional grisu, sendo o termo gás natural aplicado apenas para os gases de petróleo (Rocha, 2016).

para a geração de gás do que de óleo. No processo de carbonização (carbonificação) esta matéria orgânica acumulada é soterrada em terrenos pantanosos, preservada da oxidação, sendo compactada pelo peso dos depósitos superiores durante a subsidência da bacia sedimentar (ÚBEDA, 2008; ROCHA, 2016).



**Figura 1: Esquema das camadas de carvão e os estágios de formação.**

**Fonte: Sekitan no hon (2009) apud Rocha (2016).**

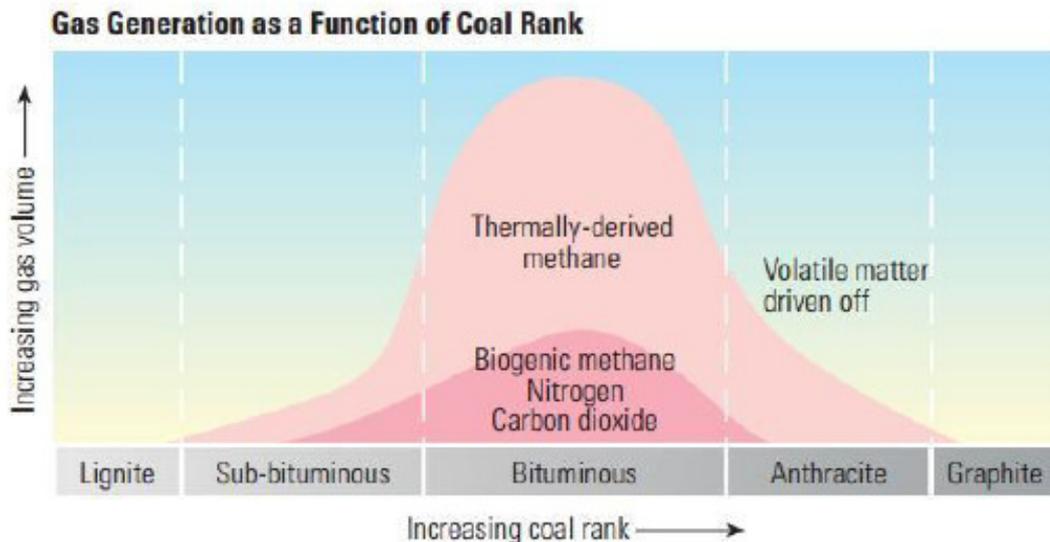
Os primeiros membros da série do carvão (turfa e linhito) tem baixa capacidade de adsorção de gás, porém quando o membro betumisono é formado, o máximo de adsorção de gás, tanto termogênico (alteração termal) quanto biogênico (decomposição da matéria orgânica) é atingido (

Figura 2). Portanto, o volume de gás na formação depende do membro da séries (HALLIBURTON, 2008; ROCHA, 2016).

O gás produzido em carvões com alta carbonificação é predominantemente termogênico, enquanto que o gás em carvões de menor carbonificação é principalmente biogênico. Uma observação que pode ser feita é que à medida que aumenta o grau de carbonificação do carvão, aumenta-se a quantidade de gás presente na jazida.

Carvões de maiores graus de carbonificação apresentam porcentagens de carbono mais altas e menores teores de umidade e compostos voláteis, uma vez que estes compostos já foram expulsos do carvão durante sua maturação o que resulta em um aumento em sua capacidade calorífica.

Jazidas com maiores graus de carbonificação são menos espessas, apresentando também menor quantidade de água, que é de baixa qualidade, o que impede seu uso sem tratamento prévio. Além disso, essas jazidas necessitam de aumento da quantidade de fraturas para que haja um aumento da produtividade de metano de carvão. Por outro lado, jazidas com menores graus de carbonificação são muito mais espessas, entretanto, contêm grandes quantidades de água que devem ser removidas para que o gás possa ser produzido.



**Figura 2: Representação gráfica da geração de metano de carvão em relação ao tipo de carvão.**

**Fonte: Halliburton (2008) *apud* Rocha (2016).**

## 2.2 Tecnologias de Exploração e Produção do Metano de Carvão

A produção de metano de carvão é influenciada pelas características físicas da jazida, as quais são reflexo da geologia da área (presença de fraturas, por exemplo), do grau de carbonificação do carvão (teor de metano e água), dentre outros. Além disso, a jazida de metano de carvão a ser explorada (jazidas virgens, minas ativas ou abandonadas) também influencia na condução da exploração, uma vez que devem ser empregados procedimentos específicos devido às características particulares.

A maioria dos carvões contém metano, entretanto sua extração pode não ser economicamente viável sem a presença de fraturas que permitam a migração dos fluidos até o poço. Áreas que apresentem uma extensa rede de fraturas são consideradas as de maior potencial econômico, devido à facilidade de escoamento de água e gás, o que resulta em um menor número de poços e menor necessidade de fraturamento artificial da jazida, reduzindo, com isso, os custos de produção. Outra característica da presença destas estruturas é o fato de que elas encontram-se saturadas com água, a qual exerce uma pressão sobre o metano, superior à pressão exercida pelo carvão, mantendo o gás retido na jazida. O diferencial de pressão evita a liberação e conseqüente perda do gás, o que faz com que seja necessária a remoção da água da jazida para que o gás possa ser produzido (ALL, 2005).

Deste modo, na exploração de metano de carvão, a quantidade de água presente em uma jazida, constitui um aspecto importante na viabilidade de um projeto, devido à necessidade de sua remoção para possibilitar a produção de metano de carvão e de cuidados referentes à sua disposição/tratamento após a extração da jazida. Assim, menores volumes de água a serem removidos reduzem os custos de exploração.

Carvões de alto grau de carbonificação apresentam menores volumes de água, entretanto com qualidade, geralmente, baixa o que requer sistemas de tratamentos mais caros. As jazidas de menor grau de carbonificação, ao contrário, apresentam maiores volumes de água com qualidade oscilando de média a alta, permitindo sua simples disposição na superfície ou tratamentos com menores custos (ALL, 2005).

Uma vez que há jazidas de características diferentes, são necessárias técnicas diversas para explorá-las. A seguir serão apresentados os diferentes mecanismos de produção para jazidas virgens, minas ativas e minas abandonadas.

### 2.2.1 Jazidas Virgens

A produção de metano de carvão de jazidas virgens, realizada através de poços, é uma atividade que independe da mineração de carvão, garantindo segurança aos trabalhadores em explorações futuras. A maior parte das reservas de metano de carvão encontra-se em jazidas virgens, devido à sua profundidade, podendo tornar a exploração do metano de carvão ainda mais promissora (EPE, 2009).

Cada tipo de carvão exige diferentes técnicas de perfuração em função da presença de fraturas, resistência do meio e volume de gás presente na jazida. Observa-se que carvões de menor grau de carbonificação são mais frágeis e com menor capacidade de produção, sendo explorados, na maioria das vezes, por poços verticais enquanto os de maior grau permitem o uso tanto de poços verticais quanto horizontais, pois, nesta situação, o volume a ser produzido, na maioria das vezes, compensa os custos do investimento.

Tanto nos poços verticais como nos horizontais, é necessária a instalação de uma bomba submersível para remoção da água da jazida. Com isso, a pressão no reservatório diminui, permitindo a dessorção do metano, que resulta no início do fluxo de gás.

Ao longo do período de exploração, o volume de água produzido pela jazida sofre contínua redução enquanto o de gás continua a aumentar, atingindo o pico de produção em alguns anos após seu início. Embora a retirada de água seja indispensável à produção do metano de carvão, não é realizada a total remoção da mesma, pois resultaria em aumento nos custos envolvidos em tratamento/disposição.

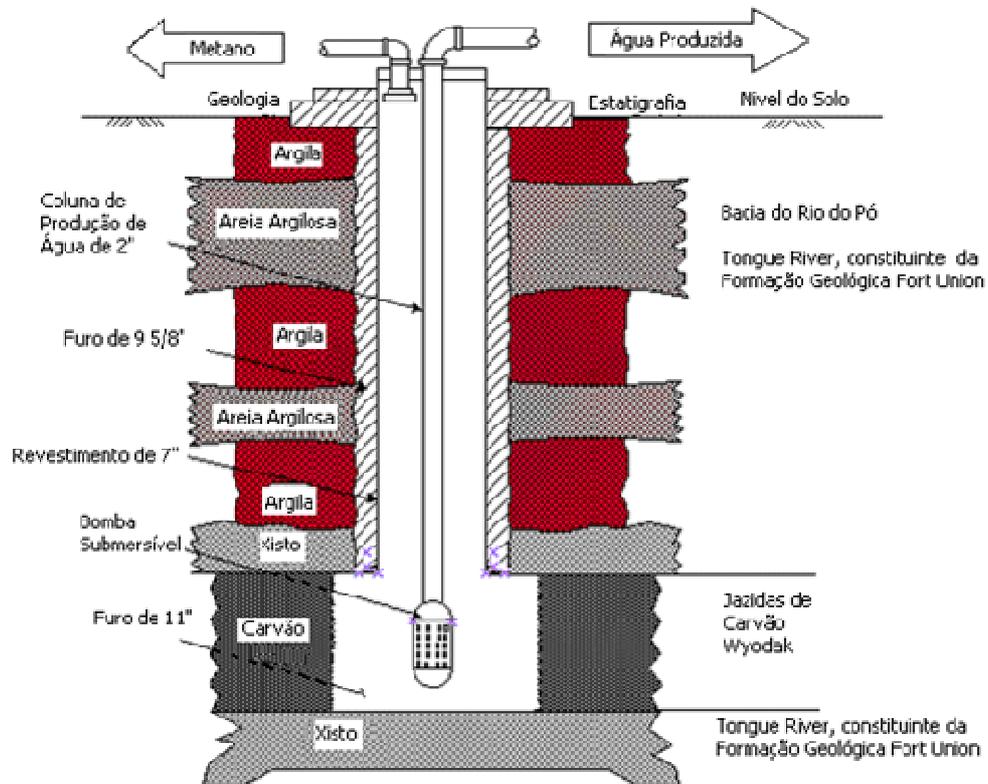
#### *Perfuração Vertical*

O poço vertical é perfurado até o topo da jazida de carvão e o revestimento é fixado à parede do mesmo. O furo e a superfície da jazida são limpos com jatos d'água, estando prontos para a produção. Os jatos de água podem ser utilizados também na realização de fraturamento da jazida quando esta não apresentar rede de fraturas totalmente desenvolvida (ALL, 2005). As Figura 3 e Figura 4 apresentam dois esquemas de produção por poço vertical, com profundidades diferentes, e representam esquemas típicos de completação em jazidas de menores e maiores graus de carbonificação, nos EUA.

Nas jazidas de menor grau de carbonificação, a perfuração vertical é empregada mesmo quando as jazidas apresentam volumes de metano que poderiam justificar o investimento em exploração horizontal, pois são frágeis demais para perfurações deste tipo.

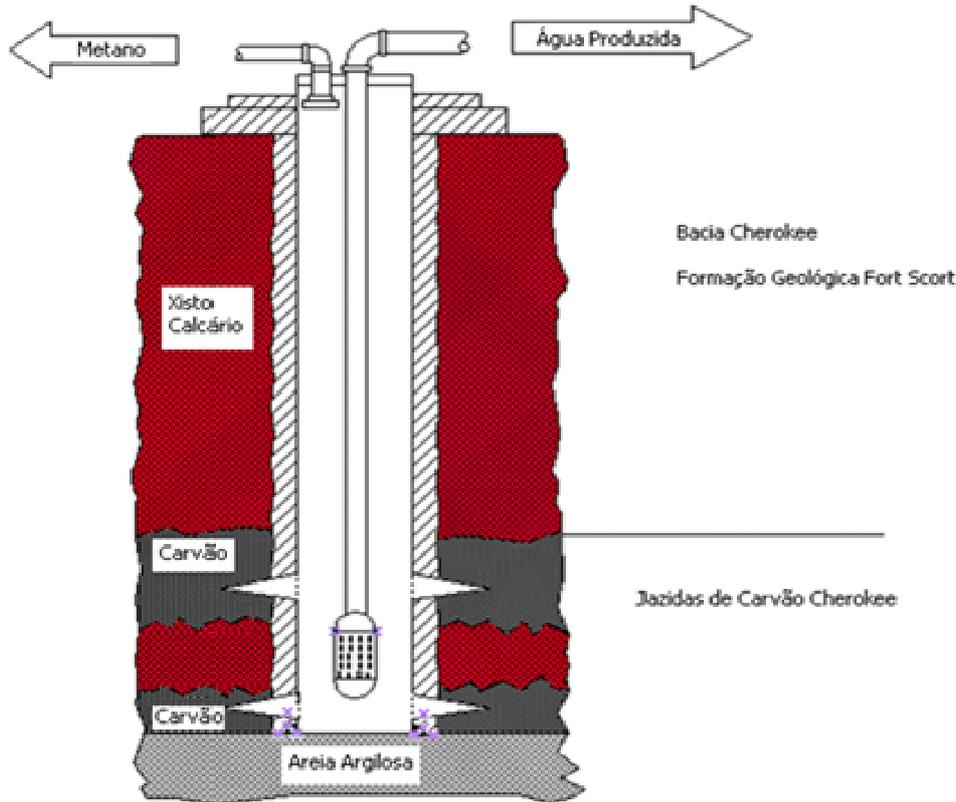
A perfuração vertical pode, ainda, ser empregada em carvões de maiores graus de carbonificação. Estes poços apresentam pequena profundidade sendo tipicamente perfurados com um pequeno equipamento móvel montado sobre um caminhão. Segundo ALL (2005), a maioria dos poços na Bacia do Rio Pó, nos EUA é perfurada desta maneira levando menos de uma semana para ser concluído. A pequena profundidade

típica destes poços faz com os custos dos mesmos sejam relativamente baixos, quando comparados com a perfuração vertical para exploração de gás de reservatórios convencionais.



**Figura 3: Poço vertical em jazidas de carvão de menor grau de carbonificação (EUA).**

**Fonte: Adaptado de ALL (2005), *apud* EPE (2009).**



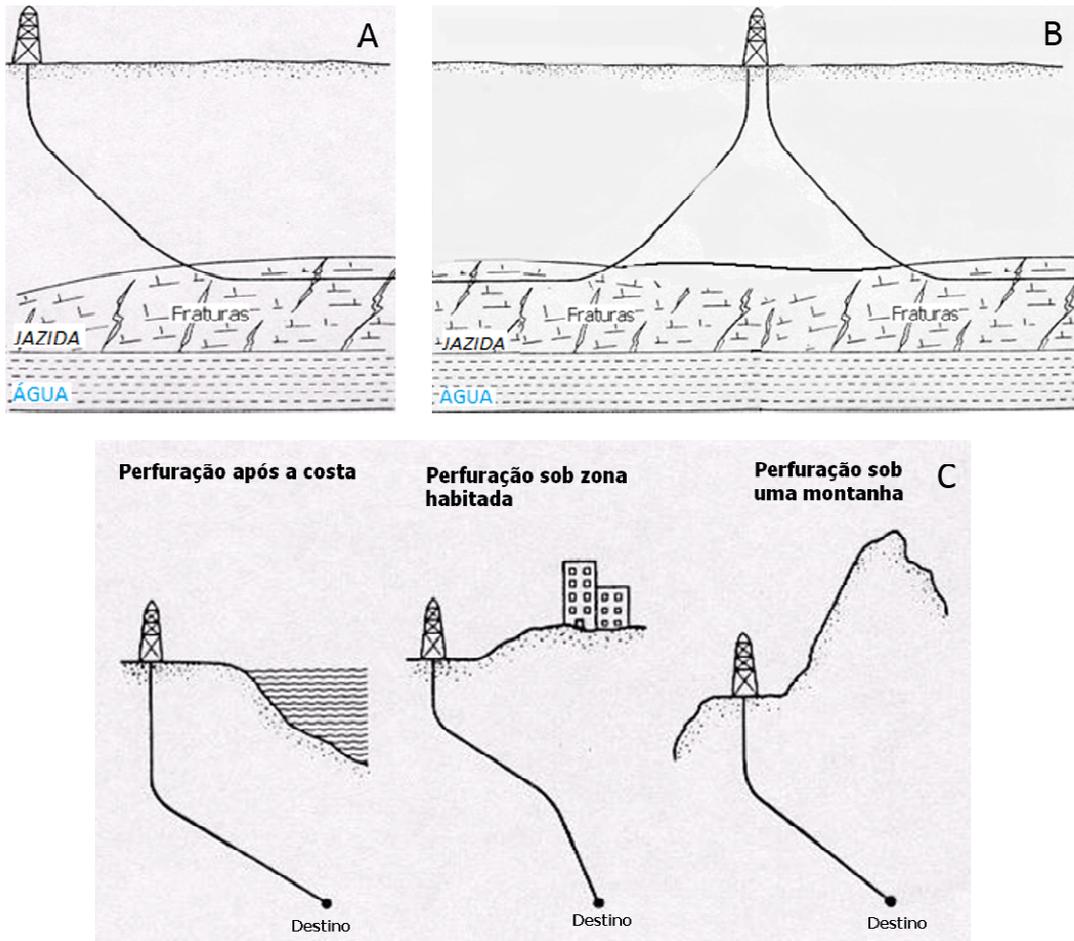
**Figura 4: Poço vertical em jazidas de carvões de alto grau de carbonificação (EUA).**

**Fonte: Adaptado de ALL (2005), *apud* EPE (2009).**

#### *Perfuração Horizontal*

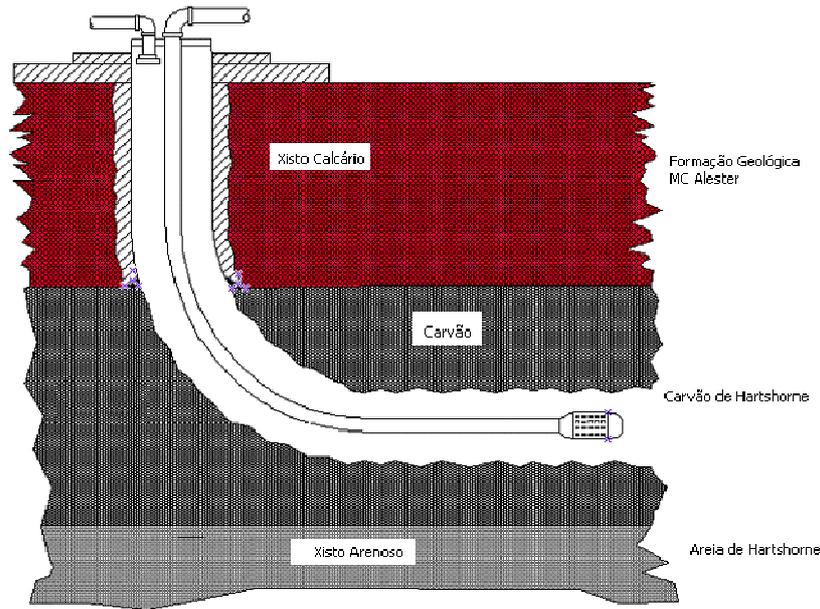
A perfuração horizontal visa o desvio intencional do poço para atingir um determinado ponto, sob diversas situações, como apresentado na Figura 5 grande afastamento lateral, locais inacessíveis ou de grande dificuldade para a perfuração vertical, perfuração de mais de um poço a partir de uma mesma locação, dentre outros. Outra vantagem desta técnica é o aproveitamento da presença natural de fraturas na jazida ou sua inclinação, de modo a facilitar a extração do metano de carvão, acompanhando ao máximo estas estruturas.

A Figura 6 apresenta um exemplo de poço horizontal, utilizado em jazidas de carvão de alto teor de carbono. Esta técnica de perfuração é empregada, geralmente, em carvões de alto grau de carbonificação uma vez que estes apresentam resistência suficiente para permitir sua instalação, além de maior volume de metano por tonelada de carvão, que justifica os maiores custos deste investimento.



**Figura 5: Perfuração horizontal nas diversas situações: A) Poço de grande afastamento lateral; B) Perfuração de mais de um poço por localização; C) Exploração em locais de difícil acesso.**

**Fonte: Alterado de UFRN (1999).**



**Figura 6: Poço horizontal em jazida de carvão de alto grau de carbonificação (EUA).**

**Fonte: ALL (2005).**

### 2.2.2 Minas Ativas

A produção de metano de carvão a partir de minas ativas apresenta a possibilidade de extração do gás de determinada jazida durante as atividades de mineração através do sistema de ventilação. A composição dos gases na atmosfera subterrânea de uma mina está relacionada a diversos fatores inerentes à extração de carvão: desmonte de rochas, decomposição de substâncias orgânicas, água subterrânea, a operação de equipamentos com motor de gasóleo, explosões, incêndios, minerais em geral e o carvão (Torres, 2005).

Os principais gases gerados a partir dessas atividades são, entre outros, o oxigênio, nitrogênio, metano e dióxido de carbono. Cada gás apresenta características diferentes que estão diretamente associadas às suas concentrações em todo o sistema de ventilação.

Nos sistemas de ventilação, o ar é direcionado até a frente de serviço, através de diversos sistemas: circuito de ventilação principal; circuito de ventilação secundária; divisores de fluxo de ar e saída de ventilação.

Segundo Bonetti (2017), considerando que a concentração de metano na saída do exaustor é baixa, fato que ocorre devido a sua diluição no sistema de ventilação, algumas técnicas podem ser aplicadas para o aproveitamento do metano nesses locais. São elas: Reator térmico de fluxo reverso (do inglês, *Thermal flow-reversal reactor* - TFRR); Reator catalítico de fluxo reverso (do inglês, *Catalytic flow-reversal reactor* - CFRR) e Catálise monolítica reversa (do inglês *Catalytic monolith reversal* - CMR).

Quando comparado à exploração de jazidas virgens, as minas em atividade deveriam ser priorizadas de modo a reduzir o impacto ambiental das emissões fugitivas das mesmas (USGS, 2008).

Durante as atividades de exploração de metano de carvão de minas em atividade, de 30 a 70% do gás presente na jazida é recuperado, de modo que o volume restante deve ser ventilado para a atmosfera para garantir a segurança dos trabalhadores e/ou permanece na jazida, permitindo sua futura exploração.

### 2.2.3 Minas Abandonadas

Com relação aos projetos em minas abandonadas, estes visam à extração do gás remanescente em carvões ainda não minerados mas que já sofreram algum tipo de perturbação (exploração de jazidas adjacentes, por exemplo), podendo oferecer retornos consideráveis e mais rápidos quando comparados com projetos para em jazidas virgens ou minas ativas. Diversos são os fatores responsáveis pelo bom desempenho de um empreendimento para minas abandonadas, como citado em DTI (2001):

- presença de conexão entre as minas abandonadas;
- presença de jazidas não mineiradas que sofreram alguma perturbação anterior;
- quantidades significativas de metano residual nas jazidas ainda não mineiradas;
- infiltração mínima de água;
- mina não inundada ou que permita, sem grandes problemas, o fluxo do gás;
- pequeno número de áreas de pequenas profundidades para evitar a fuga do gás;
- mercado local para o gás.

A produção de gás, em ambas as situações de minas, é realizada através de drenagem do sistema de minas, utilizando, para isso, bombas subterrâneas ou instaladas na superfície com o intuito de realizar a sucção do metano de carvão presente e assim enviá-lo para unidades de aproveitamento ou dutos para escoamento. A Tabela 1 apresenta um quadro comparativo dos tipos de jazida de metano de carvão e suas características, vantagens e desvantagens.

**Tabela 1: Vantagens e desvantagens dos diferentes tipos de jazidas de metano de carvão.**

Fonte: EPE (2009).

Fonte	Vantagens	Desvantagens
<b>Jazidas Virgens</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>•Alta pureza do gás;</li> <li>•Exploração independente da mineração;</li> <li>•Aumenta a segurança durante a mineração posterior;</li> <li>•Maior capacidade de desligamento<sup>6</sup>.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Maiores custos de perfuração e completação em relação às outras fontes;</li> <li>• Necessário licenciamento específico para perfuração e produção;</li> <li>• Necessário grande número de poços com menor espaçamento para garantir uma vazão comercial devido à baixa permeabilidade do carvão.</li> </ul>
<b>Minas Ativas</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>•O gás é enviado à infraestrutura já existente;</li> <li>•Produzido como subproduto;</li> <li>•Redução nas emissões de metano;</li> <li>•Grandes vazões podem ser obtidas.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Pureza do gás varia de media à baixa;</li> <li>• Podem ocorrer interrupções na produção do metano, devido à exploração do carvão;</li> <li>• Não há possibilidade de desligamento.</li> </ul>

<sup>6</sup> Desligamento refere-se à possibilidade de reduzir ou parar totalmente o fluxo de gás pelos poços individualmente.

**Minas  
Abandonadas**

- Acesso ao reservatório já existente;
- Redução nas emissões de metano;
- Grandes vazões podem ser obtidas;
- Teor de metano varia de alto a baixo;
- Permite ajuste da oferta para atender a demandas.

- Mina pode não estar completamente selada, havendo perda de gás;
- O acesso ao gás pode ser gradualmente reduzido devido ao aumento do nível de água;
- Pode ser necessário o bombeamento contínuo da água.

### 2.3 Usos do Metano de Carvão

Os diversos usos para o metano de carvão estão diretamente relacionados ao tipo da jazida da qual foi extraído, devido à sua composição (Tabela 2), sendo os principais usos na geração elétrica, em aquecedores, no suprimento de gás para consumidores domésticos e industriais, injeção em linhas de distribuição, entre outros. Cabe ressaltar que nas minas ativas, o metano também pode ser usado para manutenção da própria mina.

**Tabela 2: Uso do metano de carvão de acordo com o tipo de jazida.**

Fonte: Adaptado de EPE (2009).

Fonte	Uso	Aplicação Interna à Mina
<b>Jazidas Virgens</b>	Gás Natural Substituto	
	Geração Elétrica Local	
<b>Minas Ativas</b>	Queima	Aquecimento de água e ambiente para os trabalhadores
	Secagem do Carvão	Prevenção à formação de gelo nas minas em países frios
	Aquecimento da Mina	
	Geração Elétrica	Tratamento de água (dessalinização)
	Distribuição até Consumidores Domésticos e Industriais Locais	Geração elétrica no acionamento de máquinas elétricas
<b>Minas Abandonadas</b>	Geração Elétrica	
	Distribuição para Consumidores Industriais Locais	

### 3 O POTENCIAL DE METANO DE CARVÃO

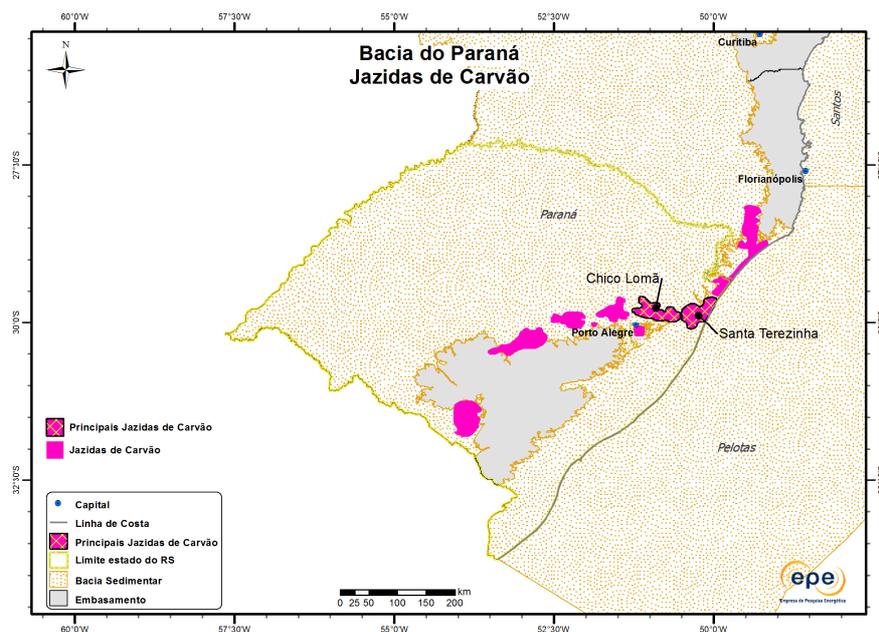
#### 3.1 Reservas Mundiais de Metano de Carvão

Segundo EIA (2012), os países com maior potencial de metano de carvão são: Estados Unidos<sup>7</sup>, Espanha, França, Polônia, Austrália, Canadá, China, Grã-Bretanha, Alemanha, Zimbábue e Rússia.

Nos Estados Unidos, a busca por menores impactos ambientais a baixo custo na exploração de recursos energéticos encontrou caminho em boas condições de mercado financeiro e avanços tecnológicos, fazendo com o que o metano de carvão corresponda a 10% da produção anual de gás natural do país (cerca de 1,5TCF). Além dos Estados Unidos, o metano de carvão também é produzido de forma significativa na Austrália e na Grã-Bretanha, além de diversos projetos pilotos em outros países como China e Índia, que possuem grandes depósitos de carvão mineral (EIA, 2012).

#### 3.2 Metano de Carvão na porção gaúcha da Bacia do Paraná

Das jazidas conhecidas de carvão mineral no Brasil, as que apresentam maiores potenciais para metano de carvão, são as áreas carboníferas de Santa Terezinha<sup>8</sup> e Chico Lomã<sup>9</sup>, localizadas na região nordeste do estado do Rio Grande do Sul (KALKREUTH & HOLZ, 2000), como apresentado na Figura 7. Além das citadas, também são reconhecidas outras jazidas na região sul do país: Candiota, Iruí, Leão-Butiá, Charqueadas-Santa Rita, Morungava e as jazidas de Criciúma.



**Figura 7: Mapa de ocorrência dos depósitos de carvão e as principais jazidas na porção gaúcha da Bacia do Paraná.**

**Fonte: elaboração própria.**

<sup>7</sup> Os Estados Unidos apresentaram em 2016 uma reserva provada de metano de carvão de 10,5BCF (EIA, 2018).

<sup>8</sup> Com área de cerca de 800 km<sup>2</sup>, abrange integral ou parcialmente os municípios de Arroio do Sal, Capão da Canoa, Capivari do Sul, Caraá, Cidreira, Imbé, Maquiné, Osório, Riozinho, Santo Antônio da Patrulha, Terra de Areia, Tramandaí, Três Cachoeiras e Xangri-lá, no estado do Rio Grande do Sul.

<sup>9</sup> Com área de cerca de 1400 km<sup>2</sup>, abrange integral ou parcialmente os municípios de Araricá, Cachoeirinha, Campo Bom, Canoas, Dois Irmãos Estância Velha, Esteio, Glorinha, Gravataí, Ivoti, Nova Santa Rita, Novo Hamburgo, Parobé, Portão, Santo Antonio da Patrulha, São Leopoldo, Sapiranga, Sapucaia do Sul e Taquara, no estado do Rio Grande do Sul.

As principais jazidas estão inseridas na principal e mais importante sucessão sedimentar portadora de carvão mineral no Brasil, conhecida como Jazida Sul Catarinense<sup>10</sup>, que ocorre na Bacia do Paraná, principalmente nos estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina, pertencendo à Formação Rio Bonito, cuja gênese deu-se durante o EoPermiano (KALKREUTH et al, 2008).

A parte preponderante das jazidas de carvão é aflorante, devido à erosão da borda leste da Bacia do Paraná. Exceções são as porções leste das jazidas de Morungava e Chico Lomã, ao sul da Jazida Sul-Catarinense e a Jazida Santa Terezinha, no estado do Rio Grande do Sul, que se encontram cobertas por sedimentos Cenozoicos da planície costeira (GOMES *et al*, 1998).

O *rank* dos carvões da Bacia do Paraná varia de sub-betuminoso, na jazida de Candiota (RS), até betuminoso e antracito, em regiões de contato com diques vulcânicos, na jazida de Santa Terezinha (RS) e na jazida Sul Catarinense (SC) (KALKREUTH *et al*. 2010).

Segundo Lourenzi e Kalkreuth (2014), para se avaliar o potencial de metano de carvão no Brasil como fonte regional de energia é necessário realizar estudos aprofundados sobre o conteúdo de gás metano e o *rank* do carvão em diferentes níveis de profundidade dos possíveis reservatórios, com a finalidade de indicar a capacidade de geração de metano nas camadas de carvão. Devem ser realizados estudos através da estratigrafia de sequências, análises geológicas para identificar os intervalos portadores de carvão, modelagem 3D e sondagem-teste para estimar seu potencial de metano de carvão.

Kalkreuth *et al* (2008) avaliaram o potencial de geração de metano de carvão na jazida Santa Terezinha, em área da jazida que abrange os municípios de Osório e Tramandaí. Segundo Casagrande (2008), a jazida Santa Terezinha é estruturada em um baixo estrutural, formada por camadas de carvão com espessura significativas em profundidades ideais para a geração do metano de carvão (de 400 a 1000m).

Em relação ao potencial da área para prospecção de metano de carvão, Kalkreuth *et al* (2008) concluíram que na área nordeste da jazida, onde se concentram camadas de carvão consideráveis, também há uma grande concentração de corpos de diabásio, o que torna essa área um alvo pouco confiável. Na porção centro-oeste, onde existe a maior concentração de carvão, há também grandes concentrações de diabásio, porém não inseridas ou intercaladas nas camadas carbonosas, o que, a princípio, não afetaria o potencial. Assim sendo, Kalkreuth *et al* (2008) define a região centro-oeste da jazida de Santa Terezinha como a de maior chance na exploração de metano de carvão.

Quanto aos volumes de metano nas camadas de carvão, os resultados da determinação da composição do gás em amostras selecionadas revelaram altos conteúdos de metano (94,26 a 99,47%), com menores contribuições de hidrocarbonetos como etano, propano, butano e gases não hidrocarbonetos. A partir da integração entre os dados obtidos Kalkreuth *et al* (2008) obtiveram um total de 5,482 bilhões de m<sup>3</sup> de metano contido no carvão da área considerada no estudo.

Segundo Levandowski (2013), a jazida de Chico-Lomã apresenta potencial para geração e acumulação de metano de carvão. A jazida é composta por nove camadas de carvão, sendo duas mais importantes. Através de dados do furo de sondagem CBM-001-CL-RS, o estudo realizou uma modelagem 3D que sugere potencial de mais de 1 bilhão de m<sup>3</sup> de gás. A geração e controle da maturação estariam associados a corpos intrusivos de diabásio, ou seja, a ocorrência do gás de metano está limitada à área estratigraficamente acima da intrusão.

<sup>10</sup> Abrange integral ou parcialmente os municípios Araranguá, Balneário Arroio do Silva, Balneário Gaivota, Bom Jardim da Serra, Braço do Norte, Cocal do Sul, Criciúma, Forquilha, Grão Pará, Içara, Jaguaruna, Lauro Muller, Maracajá, Meleiro, Morro da Fumaça, Nova Veneza, Orleans, Passo de Torres, Sangão, Siderópolis, Sombrio, Treviso, Urubici e Urussanga, no estado de Santa Catarina.

Também na porção gaúcha da Bacia do Paraná, Simão & Kalkreuth (2017) realizaram estudo do potencial de geração de carvão e gás natural na jazida de Morungava<sup>11</sup>, localizada a oeste da jazida Chico-Lomã. A jazida é uma reserva fóssil nunca explorada comercialmente (jazida virgem), tendo sido estudada apenas na década de 80. Simão & Kalkreuth (2017) acreditam na relevância do desenvolvimento de estudos em jazidas de carvão ainda não exploradas, como forma de favorecer o desenvolvimento futuro de uma matriz energética diversificada, segura e sustentável no longo prazo, com o aproveitamento do carvão através de tecnologias limpas.

O estudo de Simão & Kalkreuth (2017) foi realizado no poço CBM-001-MO-RS para conhecimento dos carvões da Jazida de Morungava, analisando a influência da maturação térmica causada por uma intrusão ígnea no grau de carbonificação das camadas de carvão, visando também uma avaliação da presença de metano de carvão adsorvido. Entretanto, o estudo conclui apenas a viabilidade econômica para o carvão em 3 das 7 camadas mapeadas.

Em regiões limítrofes ao estado do Rio Grande do Sul, no estado de Santa Catarina, outros estudos identificaram potencial de geração de metano de carvão. Lourenzi (2014) aponta potencial de geração a partir de dados de três furos de sondagem na Jazida Sul Catarinense, nos municípios de Araranguá (limite com RS) e Treviso, nas camadas Barro Branco e Irapuá (as camadas mais importantes economicamente, das dez camadas da jazida). As camadas analisadas no estudo têm características petrográficas e químicas semelhantes às da Jazida Santa Terezinha, no RS, analisadas por Kalkreuth *et al* (2008), na qual foi indicado um considerável potencial de metano de carvão, como descrito acima.

Os estudos apresentados pelos autores citados nesta Nota Técnica, avaliam o potencial de gás de carvão da porção gaúcha da Bacia do Paraná, seria em torno de 6,5 bilhões de m<sup>3</sup>. Porém, cabe ressaltar que os dados são escassos e com pouca representatividade para a área potencial do recurso.

---

<sup>11</sup> Com área de cerca de 1200km<sup>2</sup>, abrange integral ou parcialmente os municípios de Capela de Santana, Charqueadas, General Câmara, Montenegro, Nova Santa Rita, Pareci Novo, São Jerônimo, São Sebastião do Caí, Taquari, Triunfo e São José do Sul, no estado do Rio Grande do Sul.

## 4 CONCLUSÕES

Esta Nota Técnica apresenta um estudo de revisão sobre o potencial do metano de carvão com base em informações atuais. Discorre inicialmente sobre conceitos fundamentais sobre o carvão mineral e o metano de carvão, sobre os sistemas petrolíferos não convencionais em camadas de carvão e finalmente sobre o uso e tecnologias de exploração e produção deste recurso. No último capítulo aborda o potencial de metano de carvão com ênfase para a porção gaúcha da Bacia do Paraná.

Estudos citados, avaliam um alto potencial de gás de carvão na porção gaúcha da Bacia do Paraná, porém associado a grande incerteza, devido à escassez de dados e a pouca representatividade da área potencial do recurso.

Para se obter o potencial de gás de metano do Brasil, e mesmo localmente, da porção gaúcha da bacia do Paraná, faz-se necessário grande investimento em perfurações de furos de sondagens e análises laboratoriais. As informações obtidas pelas perfurações, juntamente com informações de mapas estruturais e geofísico para localização de soleiras de diabásio, tornarão possível uma avaliação de cada componente da análise de potencial para o metano.

Conforme exposto em praticamente todos os estudos de potencial de metano de carvão citados, é clara a necessidade de análises que envolvem: estratigrafia de sequências, petrologia, geoquímica, análise gravimétrica, análises químicas do carvão (análise imediata, análise de enxofre, poder calorífico), análises petrográficas do carvão (refletância da vitrinista, análise de macerais e minerais) entre outros.

Essa complexidade de análises multidisciplinares está fora do alcance técnico da EPE, sem a contratação de uma consultoria especializada.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABCM. 2016. Associação Brasileira do Carvão Mineral. Disponível em: [http://www.carvaomineral.com.br/interna\\_noticias.php?i\\_conteudo=616](http://www.carvaomineral.com.br/interna_noticias.php?i_conteudo=616). Acessado em: março de 2018
- ALL. 2005. ALL Consultant. **Coal Bed Methane Primer - New Source of Natural Gas—Environmental Implications** Disponível em: <http://www.all-llc.com/publicdownloads/CBMPRIMERFINAL.pdf>. Acessado em: março de 2018.
- ALUKO, N. 2001. **Coalbed methane extraction and utilization**. Cleaner Coal Technology Programme. Technology Status Report 16. Department of Trade and Industry. Disponível em: <<http://www.berr.gov.uk/files/file19298.pdf>> Acessado em: 01 mar 2012.
- ANEEL. 2008. Agencia Nacional de Energia Elétrica. **Carvão Mineral**. Disponível em: [http://www.aneel.gov.br/aplicacoes/atlas/pdf/08-Carvao\(2\).pdf](http://www.aneel.gov.br/aplicacoes/atlas/pdf/08-Carvao(2).pdf). Acessado em: março de 2018.
- BCGS. 2000. British Columbia Geological Survey. **Coalbed Methane Potential In British Columbia**. Disponível em: <http://www.empr.gov.bc.ca/Mining/Geoscience/Coal/CoalBC/CBM/Documents/GF2000-7.pdf>. Acessado em: abril de 2008.
- BONETTI, B. 2017. **Caracterização do Ar Ambiente de Minas Subterrâneas de Carvão da Jazida Sul Catarinense**. Dissertação de Mestrado. Faculdade de Engenharia. Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul. 87p. Porto Alegre/RS.
- BP. 2017. BRITISH PETROLEUM. **BP Statistical Review of World Energy June 2017**. Disponível em: <<https://www.bp.com/content/dam/bp/en/corporate/pdf/energy-economics/statistical-review-2017/bp-statistical-review-of-world-energy-2017-full-report.pdf>>. Acesso em: 26 março de 2017.
- CASAGRANDE, J. 2010. **Análise Estratigráfica e Estrutural do Intervalo Carbonoso Portador de CBM – EoPermiano da Bacia do Paraná**. Dissertação de Mestrado. Instituto de Geociências. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. 137p. Porto Alegre/RS.
- CHALMERS, G. R. L., & BUSTIN, R. M. 2007. **On the effects of petrographic composition on coalbed methane sorption**. International Journal of Coal Geology, v. 69, no. 4, p. 288–304.
- CPRM. 2014. Serviço Geológico do Brasil. **Carvão Mineral**. Disponível em: <http://www.cprm.gov.br/publique/Redes-Institucionais/Rede-de-Bibliotecas---Rede-Ametista/Canal-Escola/Carvao-Mineral-2558.html>. Acessado em: março de 2018.
- DNPM. 2015. Departamento Nacional de Produção Mineral. **Sumário Mineral 2015**. Disponível em: <http://www.dnpm.gov.br/dnpm/sumarios/sumario-mineral-2015>. Acessado em: março de 2018.
- DTI. 2001. Department of Trade and Industry. **Coalbed Methane Extraction and Utilisation**. Cleaner Coal Technology Programme. Technology Status Report 16. Disponível em:

<http://webarchive.nationalarchives.gov.uk/+/http://www.berr.gov.uk/files/file19298.pdf> . Acessado em mar/2018.

EIA. 2012. Energy Information Administration. Disponível em: <[http://eia.gov/energy\\_in\\_brief/article/about\\_shale\\_gas.cfm](http://eia.gov/energy_in_brief/article/about_shale_gas.cfm). Acessado em: agosto de 2015.

EIA. 2017. **Coal Explained**. Disponível em: [https://www.eia.gov/energyexplained/index.cfm?page=electricity\\_in\\_the\\_united\\_states](https://www.eia.gov/energyexplained/index.cfm?page=electricity_in_the_united_states). Acessado em: março de 2018.

EIA. 2018. **Coalbed Methane Proved Reserves as of Dec. 31**. Disponível em: [https://www.eia.gov/dnav/ng/hist/rngr51nus\\_1a.htm](https://www.eia.gov/dnav/ng/hist/rngr51nus_1a.htm). Acessado em: março de 2018.

\_\_\_\_\_. 2013. **Recursos Não Convencionais de Gás Natural**. Nota Técnica Nº EPE-DPG-SPG-Gás-NT-02-2013. Rio de Janeiro. Janeiro de 2013.

\_\_\_\_\_. 2017a. **Balanco Energético Nacional 2017**. Disponível em: <http://epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/Balanco-Energetico-Nacional-2017>. Acessado em: março de 2018.

\_\_\_\_\_. 2017b. **Plano Decenal de Expansão de Energia 2026**. Disponível em: <http://epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/Plano-Decenal-de-Expansao-de-Energia-2026>. Acessado em: março de 2018.

\_\_\_\_\_. 2017c. **Zoneamento Nacional de Recursos de Óleo e Gás**. Ciclo 2017. Ministério de Minas e Energia-MME. Brasília/DF. Disponível em: <http://epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/zoneamento-nacional-de-recursos-de-oleo-e-gas-2015-2017>. Acessado em: março de 2018.

\_\_\_\_\_. 2018. **Estudo Regional da Porção Gaúcha da Bacia do Paraná. Parte 1 - Análise do Zoneamento Nacional de Recursos de Óleo e Gás 2017**. Nota Técnica DPG-SPT Nº 01/2018. Disponível em: <http://epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/estudo-regional-da-porcao-gaucha-da-bacia-do-parana>. Acessado em: março de 2018.

GAMSON, P.D.; BEAMISH, B.B.; JOHNSON, D.P. 1993. **Coal microstructure and micropermeability and their effects on natural gas recovery**. Fuel, 72 (1) (1993), pp. 87-99.

GAUTO, M. 2016. **Petróleo e Gás: princípios da exploração, produção e refino**. Editora Bookman. Porto Alegre/RS.

GOMES, A.P; FERREIRA, J.A.F; ALBUQUERQUE, L.F; SÜFFERT, T. 1998. **Carvão Fóssil**. Estudos Avançados 12 (33). Porto Alegre/RS. Disponível em: <http://www.scielo.br/pdf/%0D/ea/v12n33/v12n33a06.pdf>. Acessado em: março de 2018.

GRAY, I. 1987. **Reservoir engineering in coal seams, part 1- the physical process of gas storage and movement in coal seams**. SPE 12514, Reservoir Engineering, pp. 28-40.

- HALLIBURTON. 2007. **Coalbed Methane: Principles and Practices**. Disponível em: [http://www.halliburton.com/public/pe/contents/Books\\_and\\_Catalogs/web/CBM/H06263\\_Chap\\_01.pdf](http://www.halliburton.com/public/pe/contents/Books_and_Catalogs/web/CBM/H06263_Chap_01.pdf). Acessado em: novembro de 2014.
- KALKREUTH W. & HOLZ M. 2000. **The coalbed methane potential of the Santa Terezinha coalfield, Rio Grande do Sul, Brazil**. Revista Brasileira de Geociências, 30(3):342-345.
- KALKREUTH W., HOLZ M., CASAGRANDE J., CRUZ R., OLIVEIRA T., KERN M., LEVANDOWSKI J., ROLIM S. 2008. **O potencial de coalbed methane (CBM) na jazida da Santa Terezinha—modelagem 3D e avaliação do poço de exploração CBM001-ST-RS**. Revista Brasileira de Geociências, 38(2):3-17.
- KALKREUTH, W., HOLZ, M., MEXIAS, A., BALBINOT, M., LEVANDOWSKI, J., WILLET, J., FINKELMAN, R. & BURGER, H. 2010. **Depositional setting, petrology and chemistry of Permian coals from the Paraná Basin: 2. South Santa Catarina Coalfield, Brazil**. International Journal of Coal Geology, 84: 213-236.
- KALKREUTH W., HOLZ M., LEVANDOWSKI J., KERN M., CASAGRANDE J., WENIGER P., KROOSS B. 2013. **The coalbed methane (CBM) potential and CO<sub>2</sub> storage capacity of the Santa Terezinha Coalfield, Paraná basin, Brazil – 3D modeling, and coal and carbonaceous shale characteristics and related desorption and adsorption capacities in samples from exploration Borehole CBM001-ST-RS**. Energy Exploration & Exploitation, 31(4).
- KISSEL, F.N. 2006. **Facts about methane that are important to mine safety**. Handbook for Methane Control in Mining. Pittsburgh. 184P.
- LEVANDOWSKI, J. H. 2013. **Características petrográficas e geoquímicas das camadas de carvão do poço CBM 001-CL-RS, jazida de Chico-Lomã e sua relação com coalbed methane associado**. 176 p. Tese de Doutorado – Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre/RS.
- LOURENZI, P. S. 2014. **O potencial de geração CBM (coalbed methane) na Jazida Sul Catarinense da Bacia do Paraná, Brasil: características petrográficas e químicas das camadas Barro Branco, Irapuá e Bonito**. 73 p. Dissertação (Mestrado) – Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre/RS.
- LOURENZI, P. S; KALKREUTH, W. 2014. **O potencial de geração CBM (coalbed methane) na Jazida Sul Catarinense: 1. Características Petrográficas e Químicas das Camadas de Carvão da Formação Rio Bonito, Permiano da Bacia do Paraná**. Brazilian Journal of Geology, 44(3): 471-491.
- ROCHA, H. 2016. **Estudo geológico do potencial de exploração e produção de gás natural não convencional na bacia do Paraná: avaliação da viabilidade no abastecimento da usina termelétrica de Uruguaiana (RS)**. Dissertação de Mestrado. Instituto de Energia e Ambiente da Universidade de São Paulo. – São Paulo, 144 p.

SIMÃO, G; KALKREUTH, W. 2017. **O carvão da Jazida de Morungava (RS, Brasil): Caracterização petrográfica, química e tecnológica das camadas de carvão do poço de exploração CBM 001-MO-RS**. Pesquisas em Geociências, 44 (2): 323-343, maio/ago. 2017

SU, S. et al. 2005. **An assessment of mine methane mitigation and utilization technologies**. Progress in Energy and Combustion Science, v. 31, n. 2, p. 123-170, 2005.

TORRES, V. F. N. 2005. **Engenharia Ambiental Subterrânea e Aplicações**. Rio de Janeiro: CETEM/CYTED. 550 p.

ÚBEDA, J. M. 2008. **Coalbed Methane (CBM)**. SPE International – Argentine Petroleum Section. 28 de junho de 2008.

UFRN. 1999. Universidade Federal do Rio Grande do Norte. **Perfuração de poços direcionais? Por que perfurar poços horizontais?** Disponível em: [http://www.nupeg.ufrn.br/downloads/deq0375/palestra\\_perfuracao\\_pocos\\_diecionais.ppt#363,5](http://www.nupeg.ufrn.br/downloads/deq0375/palestra_perfuracao_pocos_diecionais.ppt#363,5). Acessado em: 2008. NUPEG – Núcleo de Ensino e Pesquisa em Petróleo e Gás.

USGS. 2008. U.S. Geological Survey. **Coalbed Methane -An Untapped Energy Resource and an Environmental Concern** -. Disponível em: <http://energy.usgs.gov/factsheets/Coalbed/coalmeth.html>, Acessado em: fevereiro de 2008.

WANG, X. 2007. **Influence of coal quality factors on seam permeability associated with coalbed methane production**. Thesis. University of New South Wales. 358p.