

AVALIAÇÃO DO POTENCIAL CBM ATRAVÉS DA ANÁLISE DE DESSORÇÃO E ANÁLISE PETROGRÁFICA NOS CARVÕES PERMIANOS DA BACIA DO PARANÁ, BRASIL

Priscila LOURENZI¹; Janaina LEVANDOWSKI²; Airan ROSA³; Marleny GONZÁLES⁴; Wolfgang KALKREUTH⁵

¹UFRGS, priscilalourenzi@gmail.com; ²UFRGS, janalevandowski@yahoo.com.br; ³UFRGS, airan_lm@yahoo.com; ⁴UFRGS, marlenybg@gmail.com; ⁵UFRGS, Wolfgang.kalkreuth@ufrgs.br

RESUMO

Os principais depósitos de carvão no Brasil ocorrem nos estratos Permianos da Formação Rio Bonito na Bacia do Paraná. Até agora as jazidas de Santa Terezinha, Chico-Lomã (RS) e Sul-Catarinense (SC) tem sido os principais alvos dos estudos CBM, baseado no *rank*, distribuição e profundidade das camadas de carvão. O objetivo foi avaliar o potencial de CBM (*coalbed methane* – gás natural associado às camadas de carvão) através da análise de dessorção do gás das camadas de carvão seguida pela caracterização petrográfica dos carvões e determinação do conteúdo de cinzas. A metodologia consistiu na perfuração de vários poços CBM com a retirada rápida da amostra da profundidade (*wireline retrieval*), para manter os volumes de gás perdidos ao mínimo. Ao chegar na superfície as amostras de carvão foram imediatamente colocadas em cilindros fechados e as quantidades de gás dessorvidos foram registradas ao longo do tempo para determinar os volumes de gás dessorvidos. As análises petrográficas consistem em análise da reflectância da vitrinite e análise de macerais, que permitem definir o *rank* e a composição do carvão. Conforme os resultados obtidos, os carvões da Jazida de Santa Terezinha (RS) são os carvões com o maior potencial para CBM, seguido das camadas de carvão da Jazida de Chico-Lomã (RS). Os carvões da Jazida Sul-Catarinense possuem as características petrográficas e conteúdo de cinzas adequadas para a geração de gás, porém a quantidade de gás dessorvida foi muito pequena. Nesta área as camadas de carvão investigadas ocorrem numa profundidade relativamente baixa e qualquer gás gerado teria sido liberado pelo carvão pela falta de sobrecarga acima das camadas de carvão.

Palavras-chave: CBM. Carvão. Dessorção. Gás Natural. Bacia do Paraná.

ABSTRACT

The main coal deposits in Brazil occur in Permian age strata of the Rio Bonito Formation, Paraná Basin. So far, the Santa Terezinha, Chico-Lomã (RS) and South-Catarinense (SC) coalfields have been the targets of CBM studies, based on coal rank, coal distribution and depth of the coal seams. The objective has been to evaluate the CBM (coalbed methane) potential by the analysis of the gas desorption of the seams, followed by the petrographic characterization of the coals and determination of their ash contents. The methodology consisted of drilling a number of CBM boreholes, with rapid removal of the sample from depth (wireline retrieval), so as to keep lost gas volumes to a minimum. Upon arriving at surface the coal samples were immediately put into closed canisters and the desorbed gas quantities were recorded over time to determine the cumulative desorbed gas volumes. Petrographic analysis consisted of analysis of the reflectance of the vitrinite and the analysis of macerals, which allow to define the coal rank and the petrographic composition of the coal. According to the results obtained, the coal seams of the Santa Terezinha coalfield (RS) are the coals with the highest potential for CBM, followed by the coal seams of the Chico-Lomã coalfield (RS). The coals of the Sul-Catarinense coalfield (SC) have petrographic characteristics and ashes content suitable for gas generation, but so far only very small amounts of desorbed gas were observed. In this area the coal seams investigated occur at relatively shallow depth, and any gas generated would have been released from the coal do to lack of overburden.

Key-Words: CBM. Coal. Desorption. Natural gás. Paraná Basin.

1 INTRODUÇÃO

Os principais depósitos de carvão no Brasil ocorrem nos estratos Permianos da Formação Rio Bonito na Bacia do Paraná. As jazidas de Santa Terezinha, Chico-Lomã (RS) e Sul-Catarinense (SC) são os principais alvos dos estudos CBM (*coalbed methane*), baseado no *rank*, distribuição e profundidade das camadas de carvão.

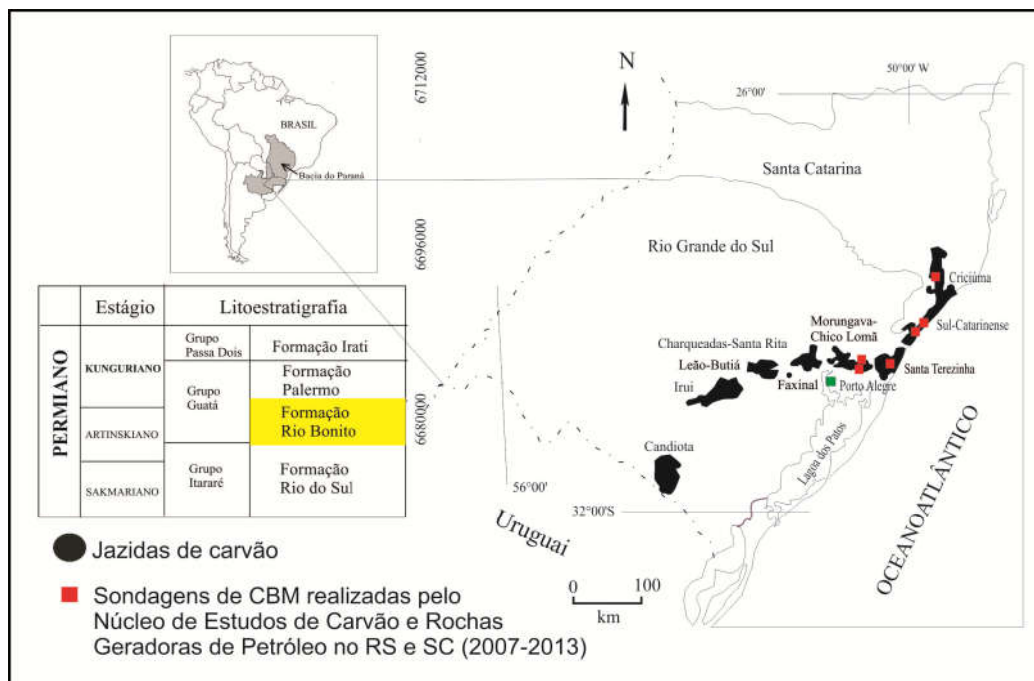
Neste estudo foram utilizadas amostras de carvão coletadas em seis poços de exploração para CBM. O primeiro poço foi realizado em 2007, na jazida de Santa Terezinha (Figura 1), próximo das cidades de Tramandaí e Osório (RS). Na Jazida de Chico-Lomã foram feitos dois poços (Figura 1), um em 2011 e o outro em 2015, ambos próximos a cidade de Santo Antônio da Patrulha (RS). Na Jazida Sul-Catarinense foram realizados três poços

CBM, dois próximos ao litoral, na cidade de Araranguá (SC) em 2011 e 2012, e um mais ao norte da jazida, na cidade de Treviso (SC) no ano de 2013 (Figura 1).

O objetivo é avaliar o potencial de CBM (*coalbed methane* – gás natural associado às camadas de carvão) nessas jazidas, através da análise de dessorção do gás das camadas e pela caracterização petrográfica e conteúdo de cinzas dos carvões.

A coleta das camadas de carvão consiste na realização de um furo de sondagem com a retirada rápida da amostra da profundidade, para não se perder o gás contido nas camadas de carvão.

Figura 1. Localização dos poços utilizados neste estudo.



Fonte: Modificado de Kalkreuth *et al.* (2003).

2 METODOLOGIA

2.1 SONDAGEM

O tipo de sondagem utilizada foi o rotativo a diamante (Figura 2A), de 47 mm de diâmetro com avanço hidráulico de amostragem rápida, denominada em inglês de *Wireline core retrieval*, que consiste em uma retirada rápida da amostra da

profundidade, com o intuito de não perder o metano contido nas camadas e leitos de carvão amostrados.

As amostras são acondicionadas em cilindros, que são fechados e colocados em uma caixa térmica, com o objetivo de avaliar corretamente a quantidade de gás metano contido nos carvões, através das medidas de dessorção.

2.2 LABORATÓRIO MÓVEL

Um laboratório móvel (Figura 2B) foi levado até os locais das sondagens para avaliar a quantidade de gás contido nos carvões. Esse laboratório consiste em um trailer equipado com instrumentos específicos para esse tipo de estudo, tais como uma caixa térmica (Figura 2C) contendo os cilindros de armazenamento (Figura 2D) para as medidas de dessorção, juntamente com um aparelho para o monitoramento da pressão e temperatura ambiente (Figura 2E) e um termostato (Figura 2F) para controlar a temperatura interna na caixa que contém os cilindros.

Para estimar a temperatura na profundidade em que está a camada de carvão em cada poço, foram utilizados dados de temperatura (*Bottom-hole-temperature*) de um poço de exploração da Petrobrás em Torres (RS) e a temperatura média superficial da área em que foi feito o poço. Dessa forma, foi calculada a temperatura que a caixa térmica deveria ficar para cada poço realizado. Foi utilizado também um aparelho para medir a pressão e temperatura ambiente no momento das medidas de dessorção.

Figura 2. A) Sondagem do tipo rotativo a diamante; B) Laboratório móvel; C) Caixa térmica para o armazenamento dos cilindros; D) Cilindros com 36 cm de comprimento; E) Aparelho para monitoramento de pressão e temperatura ambiente; F) Termômetro acoplado para controle de temperatura interna da caixa térmica.



2.3 MEDIDAS DE DESSORÇÃO

As medidas de dessorção do gás iniciam após o fechamento dos cilindros. O procedimento de medida do metano dessorvido consiste em engatar no cilindro uma mangueira que está conectada a uma coluna graduada contendo água (Figura 3), quando a válvula do cilindro é aberta é possível observar quanto de gás está sendo liberado de dentro do cilindro, conforme a lâmina d'água sobe ou desce dentro da coluna. Juntamente com a medida do gás, a temperatura da caixa que contém os cilindros é anotada em cada medida realizada, assim como a pressão e temperatura ambiente.

O período de tempo em que as medidas serão realizadas vai depender da quantidade de gás liberado pelo carvão. Todos os dados obtidos durante as medidas são inseridos em tabelas que irão gerar gráficos de dessorção (cumulativo), que irão mostrar a quantidade de gás liberado ou não.

Figura 3. Coluna de vidro graduada para medição do volume de gás dessorvido.



Fonte: Levandowski (2009).

2.4 PREPARAÇÃO DAS AMOSTRAS DE CARVÃO

O processo de preparação das amostras de carvão consiste na secagem em estufa com temperatura $\leq 40^{\circ}\text{C}$, após isso as amostras são passadas por um triturador de mandíbulas e homogeneizadas. São então quarteadas e divididas, onde uma parte da amostra é pulverizada até a fração <200 mesh para análise de cinzas e a outra

parte é passada por uma peneira com granulometria entre 0,25-0,80 mm, cerca de 20g de amostra são utilizadas para o embutimento na confecção de seções polidas em grão (ASTM D2013/2013M-12, 2012) que serão utilizadas na análise petrográfica.

2.5 ANÁLISE DE CINZAS

As cinzas são os resíduos inorgânicos que permanecem após o início da combustão do carvão. Segundo a norma ASTM D 3174 (1991), o teor de cinza é determinado pela pesagem dos resíduos após a queima do carvão em condições rígidas de controle de peso da amostra, temperatura, tempo e atmosfera.

2.6 ANÁLISE PETROGRÁFICA

As análises petrográficas consistem em Análise da Reflectância da Vitritina (ISO 7404/5, 1985) e Análise de Macerais (ISO 7404/3, 1985), que permitem definir o *rank* e a composição do carvão. A Análise de macerais é de fundamental importância para identificação e quantificação dos diferentes tipos de macerais e matéria mineral contidos nas amostras, além de auxiliar na avaliação do conteúdo de gás relacionado à composição do carvão.

Estas características podem nos revelar importantes informações para definirmos o potencial de estocagem e produção de metano *in situ* do carvão analisado.

3 RESULTADOS

3.1 JAZIDA DE SANTA TEREZINHA (RS)

3.1.1 Medidas de Dessorção

O primeiro poço CBM foi realizado em Santa Terezinha (RS) em 2007 e foi denominado de CBM-001-ST-RS. O poço atingiu uma profundidade de 638,35 metros (contato com o embasamento). O carvão possui uma espessura cumulativa de 7,41 metros que estão distribuídos em 12 camadas de carvão e folhelhos carbonosos com espessuras individuais de 0,16 m (camada A) até 1,77 m (camada G). Foram coletadas 24 amostras de carvão para análise.

As medidas de desorção do gás mostra uma variação de 0,32 até 1,63 cm³/g nas camadas de carvão estudadas (Tabela 1).

3.1.2 Análise de Cinzas

O conteúdo de cinzas variou de 42,08 até 92,70% (Tabela 1) nas camadas e leitos de carvão do poço CBM-001-ST-RS. Sendo que a camada D foi a que teve o menor valor e o leito L1 o maior valor de cinzas.

É possível observar uma relação do conteúdo de cinzas com o volume de gás medido, nas camadas com menor conteúdo de cinzas foi liberado mais gás que as camadas com maior conteúdo de cinzas.

3.1.3 Análise Petrográfica

3.1.3.1 Reflectância da Vitritina

Nas camadas de carvão do poço CBM-001-ST-RS os valores da reflectância da vitritina mostram uma grande variação, desde 0,65 até 2,61 Rrandom(%), indicando um *rank* Betuminoso Alto Volátil C até Semi-Antracita (Tabela 1).

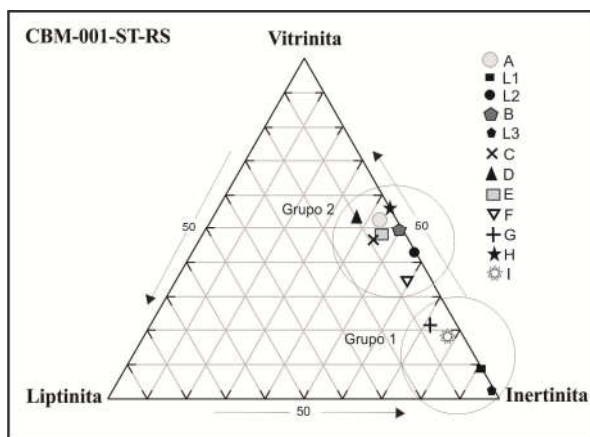
De acordo com Levandowski (2009), estes valores podem ser divididos em duas populações, uma com valores de reflectância mais baixos (0,65-1,05 Rr%) e a segunda com valores mais elevados (1,4-2,61 Rr%). A segunda população provavelmente foi afetada por intrusões vulcânicas, que causaram um aumento no nível de *rank*.

3.1.3.2 Análise de Macerais

A composição petrográfica das camadas de carvão no poço CBM-001-ST-RS está detalhada na Tabela 1. A Figura 4 mostra o diagrama ternário dos grupos de macerais das camadas estudadas, onde pode-se observar uma distinta separação entre as camadas, sendo um grupo composto pelas camadas G,I e L1+L3, com conteúdo de inertinita >60% e vitritina <30% (Grupo 1). O segundo grupo é constituído pelas demais camadas e apresenta de 35-60% de inertinita e 30-60% de vitritina (Grupo 2).

Quando comparamos os dois grupos com a quantidade de gás total (Tabela 1), percebe-se que a maioria das camadas do Grupo 1 (que contem altos valores de inertinita) possui baixos valores de gás, indicando uma correlação negativa com a inertinita e positiva com o conteúdo de vitritina (Levandowski, 2009).

Figura 4. Diagrama ternário mostrando a composição maceral das diferentes camadas e leitos de carvão estudadas no poço CBM-001-ST-RS.



3.2 JAZIDA CHICO-LOMÃ (RS)

3.2.1 Medidas de Dessorção

Na Jazida de Chico-Lomã (RS) foram realizados dois poços CBM, o primeiro em 2011 e o segundo em 2015. O primeiro furo foi denominado de CBM-001-CL-RS e atingiu a profundidade final de 431,50 metros (contato com o embasamento). O carvão possui uma espessura cumulativa de 11,46 metros e apresenta uma intrusão ígnea de diabásio de 11 metros de espessura entre as camadas. Foram identificadas 4 camadas (A, B, CL4 e CL6) e 11 leitos de carvão e 26 amostras foram coletadas para análise.

Os valores das medidas de gás para as camadas de carvão desse poço estão na Tabela 1. De acordo com os dados obtidos observa-se que a característica mais notória é que a camada situada abaixo do diabásio CL6, não apresenta gás. As medidas de dessorção nas camadas acima da intrusão variam de zero até 0,53 cm³/g, sendo que os maiores valores de gás ocorreram na camada CL4 (Levandowski, 2013).

O segundo furo foi denominado de CBM-002-CL-RS e atingiu 551,50 metros de profundidade (contato com o embasamento), com 7,65 metros de espessura cumulativa de carvão. Foram encontradas 4 camadas de carvão (A, B, CL4 e CL6) e 7 leitos de carvão, dos quais somente 5 foram amostrados, totalizando 29 amostras coletadas para análise.

Quando analisado o volume total de gás por camada (Tabela 1), o valor gerado a partir do

cálculo relativo à espessura destas, está entre 0,16 e 0,42 cm³/g. Sendo que o valor maior pertence à camada CL6, e o menor valor é representativo da camada A (não incluindo os valores dos leitos de carvão) (Rosa, 2015).

Quando comparamos os valores de gás medido obtidos no poço CBM-002-CL-RS com os valores encontrados no poço CBM-001-CL-RS, nota-se uma pequena diminuição dos valores referentes às amostras das camadas A, B e CL4. Porém observa-se que nas amostras, analisadas neste trabalho, a camada CL6 apresenta gás e valores de dessorção com uma variação de 0,04 a 1,26 cm³/g.

3.2.2 Análise de Cinzas

O conteúdo de cinzas variou de 34,84 até 76,21% (Tabela 1) nas camadas e leitos de carvão do poço CBM-001-CL-RS. Observa-se que o teor de cinzas é maior na camada abaixo da intrusão (Camada CL6).

No poço CBM-002-CL-RS o conteúdo de cinzas variou de 38,23 até 81,14%. A camada CL6 é a que possui o maior conteúdo de cinzas, e a camada B o menor, porém a camada CL6 foi a que obteve o maior volume de gás dessorvido, sendo assim, não é possível relacionar o conteúdo de cinzas com a quantidade de gás dessorvido nesse poço.

3.2.3 Análise Petrográfica

3.2.3.1 Reflectância da Vitrinita

No poço CBM-001-CL-RS os valores da reflectância da vitrinita mostram uma grande variação 0,55 até 3,28 Rr% (Tabela 1) nas camadas de carvão, indicando um aumento do *rank* em direção a intrusão de diabásio (Figura 5) e uma diminuição do *rank* conforme afasta-se do mesmo (Levandowski, 2013).

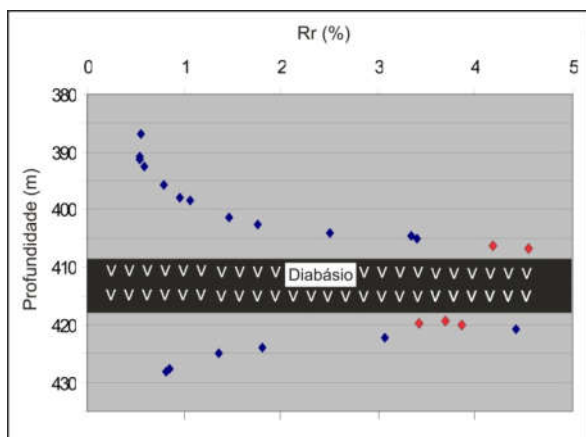
De acordo com os resultados obtidos, percebe-se que a intrusão influencia no *rank* do carvão até uma distância de aproximadamente 11 metros, que é quase o mesmo valor que a espessura da intrusão.

Filho *et al.* (2008) afirma que o efeito de uma intrusão na rocha encaixante é equivalente à espessura do corpo intrusivo; no caso de múltiplas intrusões, o efeito pode ser potencializado. Esse processo pode variar em suas dimensões em função da profundidade da intrusão, sendo que quanto maior a profundidade, maior o calor transmitido.

Tabela 1. Resultados das medidas de dessorção, conteúdo de cinzas e análise petrográfica para os seis poços estudados.

Poço	Camada / leito	Profundidade (m)	Volume de Gás	Cinzas (%)	Ro (%)	Vitrinita	Liptinita	Inertinita	Mat.Min	VIT (%)	LIP (%)	IN (%)
						Sem MM				Sem MM		
CBM-001-ST-RS	A	606,35-606,62	0,96	53,64	0,65	46,60	3,40	38,60	11,40	52,60	3,80	43,60
	L1	609,10-609,47	0,38	92,70	2,61	4,40	0,00	40,60	55,00	9,80	0,00	90,20
	L2	610,30-610,66	1,04	73,43	1,50	35,00	0,40	48,00	16,60	42,00	0,50	57,50
	B	611,05-611,41	1,55	62,17	0,88	37,00	0,00	36,80	26,20	50,10	0,00	49,90
	L3	617,87-618,24	0,34	83,98	1,44	1,00	0,00	44,00	55,00	2,20	0,00	97,80
	C	618,24-620,30	1,46	43,74	0,82	42,00	7,90	37,90	12,30	47,90	9,00	43,10
	D	620,80-621,56	1,63	42,08	0,87	46,30	9,10	33,60	11,00	52,00	10,20	37,80
	E	622,24-623,46	1,00	42,23	0,86	42,90	6,70	37,70	12,70	49,10	7,70	43,20
	F	627,30-627,45	0,83	52,15	0,91	32,60	5,00	55,80	6,60	34,90	5,40	59,70
	G	630,35-633,81	0,59	55,76	1,04	17,30	7,40	60,80	14,40	20,20	8,70	71,10
CBM-001-CL-RS	H	636,47-637,19	1,05	54,63	0,86	48,60	0,00	36,00	15,30	57,40	0,00	42,60
	I	637,86-638,22	0,32	79,55	1,05	8,00	2,00	36,80	53,20	17,10	4,30	78,60
	L1	386,95-387,32	0,18	34,84	0,55	73,60	1,00	5,80	19,60	91,54	1,24	7,21
	A	390,82-391,56	0,14	46,66	0,55	42,80	5,30	13,50	38,40	69,48	8,60	21,92
	L5 e 6	392,61-398,98	0,13	61,26	0,59	27,20	2,80	9,80	60,20	68,34	7,04	24,62
	L7	395,76-396,12	0,27	44,79	0,79	55,80	1,00	13,40	29,80	79,49	1,42	19,09
	B	397,87-398,78	0,49	35,87	1,02	62,30	0,00	11,60	26,10	84,30	0,00	15,70
	L9	401,27-401,64	0,53	52,87	1,46	43,20	0,00	18,50	38,30	70,02	0,00	29,98
CBM-002-CL-RS	CL4	402,58-407,22	0,46	66,40	3,28	36,00	0,00	11,40	52,70	75,95	0,00	24,05
	CL6	418,94-429,27	0,00	76,21	2,58	11,70	1,50	23,40	63,40	31,97	4,10	63,93
	L1	503,03-503,20	0,58	38,23	0,62	72,80	0,00	4,60	22,50	94,00	0,00	6,00
	A	505,79-506,43	0,16	63,86	0,65	48,90	0,00	1,00	50,00	98,00	0,00	2,00
	L2	507,45-507,65	0,23	71,71	0,67	57,90	0,00	2,50	39,60	95,80	0,00	4,20
	L3	507,82-507,92	0,18	44,98	0,70	68,00	0,20	1,80	30,00	97,20	0,20	2,60
	B	510,47-511,01	0,41	42,55	0,72	59,26	0,70	16,40	23,70	78,00	0,90	21,10
	L4	512,89-513,09	0,26	40,83	0,57	53,00	0,00	9,00	38,00	85,50	0,00	14,50
CBM-SC-2011	CL4	513,25-514,33	0,29	56,76	0,67	44,00	0,00	5,20	50,80	89,50	0,00	10,50
	L5	518,26-518,46	0,12	80,51	0,67	19,40	0,00	1,00	79,60	95,10	0,00	4,90
	CL6	519,10-523,61	0,42	81,14	2,32	27,50	0,00	3,60	68,90	88,50	0,00	11,50
	BB	274,54-276,70	0,05	34,93	0,79	50,10	5,40	25,80	19,20	62,20	6,10	31,70
	I	292,60-292,96	0,05	61,90	0,60	29,20	7,80	20,60	42,40	50,70	13,50	35,80
	A	295,64-296,00	0,01	65,70	0,74	20,60	6,00	30,00	43,40	36,40	10,60	53,00
	BS	305,65-306,37	0,00	58,06	0,85	19,00	11,20	28,90	40,90	32,10	19,00	48,90
	BI	310,35-314,11	0,02	42,00	0,85	30,50	14,60	36,50	18,50	36,90	18,00	45,20
CBN-SC-2012	PBS	316,97-317,69	0,02	59,90	0,85	25,90	12,10	23,20	38,80	40,50	20,60	38,90
	PBI	321,13-321,49	0,05	41,20	0,86	66,00	13,00	11,80	9,20	72,70	14,30	13,00
	BB	292,00-292,36	0,03	57,53	0,87	65,40	1,60	5,80	27,20	89,80	2,20	8,00
	BS	324,30-325,02	0,11	58,23	0,91	20,60	10,20	21,10	48,10	39,50	19,60	40,90
	BI	327,73-332,33	0,05	62,02	0,88	20,30	11,40	21,80	46,50	37,90	21,30	40,70
	PBS	335,11-336,57	0,03	65,04	0,86	14,80	5,50	9,80	70,00	44,90	18,20	36,90
	PBI	339,12-339,83	0,04	60,69	0,84	21,60	6,90	12,60	58,90	43,20	16,40	40,30
	BB	166,14-167,87	0,08	48,12	1,00	39,10	1,00	28,90	28,80	56,40	1,50	42,10
CBM-SC-2013	I	177,19-181,30	0,04	49,36	1,18	42,60	0,00	28,80	28,60	59,60	0,00	40,40
	BI	212,60-215,12	0,06	63,17	1,26	17,30	0,00	26,40	56,30	39,60	0,00	60,40

Figura 5. Perfil da reflectância *versus* profundidade. Pontos em vermelho: amostras com características petrográficas de coque natural.



Fonte: Levandowski (2013).

Os resultados de reflectância da Tabela 1 mostram os valores recalculados para a camada total, e mostram uma variação entre 0,57 até 2,32 Rrandom (%) para o poço CBM-002-CL-RS. O menor valor é referente a uma amostra da camada CL4 e o maior valor é referente à camada CL6. Os baixos valores de reflectância em algumas amostras estão associados ao aumento do conteúdo de matéria mineral. De acordo com Taylor *et al.* (1998), os valores de reflectância obtidos indicam um *rank* Betuminoso Alto Volátil C – Betuminoso Alto Volátil A para as camadas e leitos analisados. O valor médio de 2,32 Rrandom (%) na camada CL6 se deve a uma grande variação de valores dentro da camada, de 0,61 até 4,66 Rrandom(%) (Rosa, 2015), indicando um *rank* Betuminoso Alto Volátil C até Meta-Antracito para a camada.

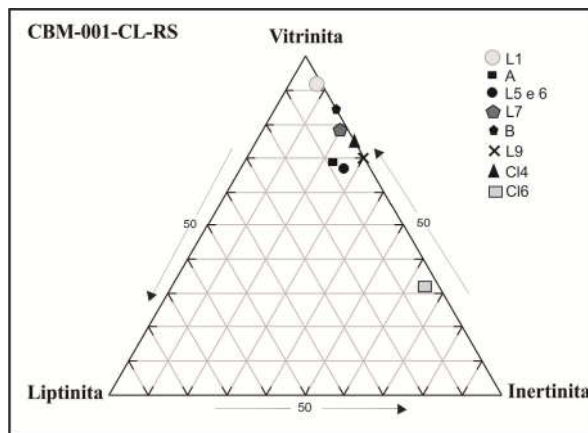
3.2.3.2 Análise de Macerais

A composição maceral para o poço CBM-001-CL-RS mostra que no geral há uma diminuição do conteúdo de vitrinita em direção à base da sequência (Figura 6), e um aumento do conteúdo de inertinita e matéria mineral na camada CL6, abaixo do diabásio.

O conteúdo de liptinita varia de 0 até 6,2% (Tabela 1) e é identificado somente até a reflectância 0,85 Rrandom (%). A soma do conteúdo de inertinita com a matéria mineral resulta em um valor médio de 87% para a camada CL6. Esse alto conteúdo de inertinita + matéria mineral pode ter

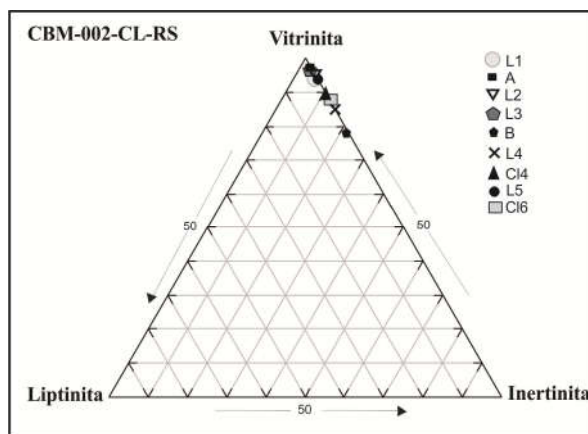
gerado implicações para a ocorrência de gás, uma vez que não foi medido gás na camada CL6.

Figura 6. Diagrama ternário mostrando a composição maceral das diferentes camadas e leitos de carvão estudadas no poço CBM-001-CL-RS.



Analisando os resultados da composição dos macerais para as amostras de carvão do poço CBM-002-CL-RS (Tabela 1), nota-se uma grande variação entre as camadas e percebemos uma predominância da vitrinita e inertinita sobre a liptinita (Figura 7). Sem contar os leitos de carvão, quando recalculados de acordo com a espessura de cada uma das quatro camadas e sem incluir a matéria mineral, a camada A apresenta o maior conteúdo de vitrinita com 98% e o menor conteúdo de inertinita, 2% (Tabela 1). Já a camada B tem o menor valor de vitrinita 78% e o maior valor de inertinita com 21,1%.

Figura 7. Diagrama ternário mostrando a composição maceral para as camadas e leitos de carvão no poço CBM-002-CL-RS.



Incluindo a matéria mineral, percebemos que a camada CL6 é a que apresenta o maior valor de matéria mineral com 68,9%, e a camada B é a que apresenta o menor valor com 23,7% (Tabela 1).

Analisando todos os dados do poço CBM-002-CL-RS, notamos o aumento do conteúdo de matéria mineral em relação ao da vitrinita com a profundidade.

3.3 JAZIDA SUL-CATARINENSE (SC)

3.3.1 Medidas de Dessorção

O primeiro poço foi denominado de CBM-SC-2011 e atingiu uma profundidade de 327,15 metros, e possui 5,38 metros de espessura cumulativa de carvão. Foram identificadas sete camadas de carvão (Barro Branco, Irapuá, A, Bonito Superior, Bonito Inferior, Pré-Bonito Superior e Pré-Bonito Inferior) e 18 amostras foram coletadas para análise.

O segundo furo CBM-SC-2012 teve uma profundidade total de 341 metros, com 5,40 metros de espessura cumulativa de carvão. Cinco camadas de carvão foram identificadas (Barro Branco, Bonito Superior, Bonito Inferior, Pré-Bonito Superior e Pré-Bonito Inferior) e 21 amostras foram coletadas para análise.

O terceiro furo CBM-SC-2013 teve uma profundidade total de 249,30 metros, com 6,35 metros de espessura cumulativa de carvão. Somente três camadas foram identificadas (Barro Branco, Irapuá e Bonito Inferior) e 22 amostras foram coletadas para análise.

Os valores medidos de gás dessorvido em cada um dos três poços foram muito baixos, variando de 0,0 – 0,05 cm³/g no poço CBM-SC-2011; 0,03 – 0,11 cm³/g no poço CBM-SC-2012 e 0,04 – 0,08 cm³/g no poço CBM-SC-2013 (Tabela 1). Quando comparamos esses valores de gás dessorvidos com os valores encontrados no poço de Santa Terezinha (RS), observamos que o volume de gás liberado pelas camadas de carvão nesses poços são muito baixos.

3.3.2 Análise de Cinzas

O percentual de cinzas das camadas de carvão para os três poços realizados na Jazida Sul-Catarinense (SC) mostrou valores de 34,93 a 65,70% (Tabela 1). O menor valor corresponde à camada Barro Branco e o maior valor pertence a camada A.

Como os valores de gás dessorvido nos três furos foi muito baixo, não é possível fazer uma relação com o conteúdo de cinzas.

3.3.3 Análise Petrográfica

3.3.3.1 Reflectância da Vitrinita

Os resultados mostrados na Tabela 1 mostram que o poço CBM-SC-2011 possui uma variação entre 0,60 e 0,86 Rrandom (%) nos valores de reflectância da vitrinita, indicando uma variação de *rank* Betuminoso Alto Volátil C até o Betuminoso Alto Volátil A nas camadas de carvão. As camadas Irapuá e A apresentaram valores relativamente baixos se comparados aos valores nas demais camadas (Lourenzi & Kalkreuth, 2014).

Para o poço CBM-SC-2012 os valores de reflectância da vitrinita por camada variam de 0,84 a 0,88 Rrandom (%) (Tabela 1), indicando um *rank* Betuminoso Alto Volátil A para todas as camadas de carvão encontradas (Lourenzi & Kalkreuth, 2014).

Os valores de reflectância da vitrinita para o poço CBM-SC-2013 mostraram uma variação de 1,00 a 1,26 Rrandom (%) nas camadas (Tabela 1), indicando um *rank* Betuminoso Alto Volátil A para a camada Barro Branco e Betuminoso Médio Volátil para as camadas Irapuá e Bonito Inferior (Lourenzi & Kalkreuth, 2014).

O aumento nos valores da reflectância da vitrinita das camadas Irapuá e Bonito Inferior nesse último poço sugere a presença de intrusões ígneas nas proximidades das camadas de carvão estudadas, pois a diferença de profundidade entre as camadas não é o suficiente para explicar o aumento do *rank* entre a camada Barro Branco e as camadas Irapuá e Bonito Inferior.

3.1.1.2 Análise de Macerais

A composição petrográfica sem contar a matéria mineral é altamente variável para os poços da jazida Sul-Catarinense. No poço CBM-SC-2011 a vitrinita varia de 32,1 até 72,7% (Tabela 1), a liptinita varia de 6,1 até 20,6% e a inertinita varia de 13 até 53%. Pode-se dizer que há uma predominância de vitrinita e inertinita em relação à liptinita nas amostras desse poço.

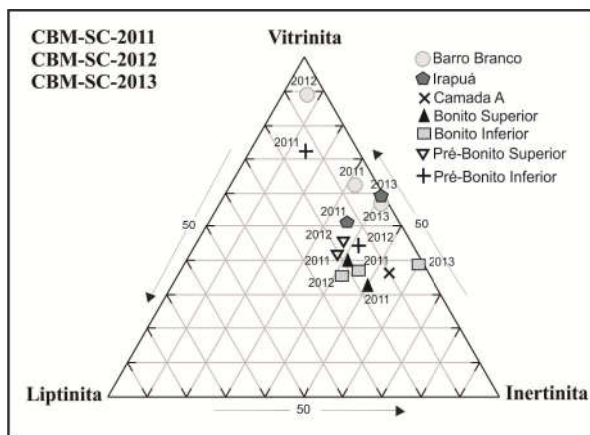
No poço CBM-SC-2012 a vitrinita varia de 37,9 até 89,8% (Tabela 1), sendo que a camada Barro Branco possui os maiores valores. A liptinita varia de 2,2 até 31,3% e a inertinita varia de 8 até

40,9%, sendo que o menor valor foi encontrado na camada Barro Branco.

Para o poço CBM-SC-2013 a vitrinita varia de 39,6 até 59,6% (Tabela 1), a liptinita varia de zero até 1,5% e a inertinita de 40,4 até 60,4%. A liptinita só foi encontrada em quantidades muito pequenas na camada Barro Branco. A ausência de liptinitas nas outras camadas pode ser explicada pelo alto valor da reflectância da vitrinita encontrado. Segundo Mastalerz *et al.* (2009), a ausência de macerais do grupo da liptinita pode indicar que a temperatura da possível intrusão próxima as camadas de carvão desse poço foi maior que 300°C.

No diagrama ternário da Figura 8 foram inseridos os valores da composição maceral por camada para os três poços. No poço CBM-SC-2012 foi coletada somente uma amostra para a camada Barro Branco, por isso não foi possível calcular uma média composicional para a camada, e como essa amostra é bem do topo da camada (forro), explica o alto conteúdo de vitrinita, quando comparado com a média dos outros dois poços. A camada Pré-Bonito Inferior também mostrou uma grande variação no conteúdo de vitrinita nos poços CBM-SC-2011 e CBM-SC-2012.

Figura 8. Diagrama ternário mostrando a composição maceral para as camadas de carvão nos três poços realizados na Jazida Sul-Catarinense.



Fonte: Lourenzi, P., Kalkreuth, W. (2014).

4 CONCLUSÕES

Analisando todos os dados obtidos, percebemos que o poço realizado na Jazida de Santa Terezinha foi o que teve as maiores

quantidades de gás dessorvido das camadas e leitos de carvão.

Quando comparamos com os outros poços, notamos que as camadas de carvão do poço CBM-001-ST-RS estão bem mais profundas, com mais de 600 metros de profundidade. Esse fato pode ter contribuído para que o gás ficasse trapeado nas camadas de carvão. Tendo em vista que nos poços da Jazida de Chico-Lomã com 386,95m (CBM-001-CL-RS) e 503,03 m (CBM-002-CL-RS) de profundidade, a quantidade de gás liberado foi menor, podemos fazer uma relação da quantidade de gás liberado com a profundidade das camadas. O conteúdo de gás liberado no poço de Santa Terezinha também pode ser relacionado com o conteúdo de cinzas, tendo em vista que as camadas com menor conteúdo de cinzas foram as que tiveram maior volume de gás dessorvido.

Através da compilação de todos os dados do poço CBM-001-CL-RS, chega-se a conclusão que a existência de gás somente acima da intrusão pode estar ligada a diferente composição maceral, onde acima da intrusão há maior conteúdo de vitrinita e consequentemente menor conteúdo de cinza, sendo mais adequada para a geração de gás. A ausência de gás na camada de carvão abaixo da intrusão pode ser relacionada ao fato de que a camada é extremamente rica em cinzas e a matéria orgânica é dominada por macerais do grupo da inertinita.

No poço CBM-002-CL-RS os resultados de volume de gás são coerentes com as propriedades do carvão encontradas. Pois o gás começa a ser gerado quando o carvão atinge um *rank* Betuminoso Alto Volátil (em uma temperatura de aproximadamente 80°C), e quanto maior o *rank*, maior o volume de gás gerado.

Quando analisamos as características petrográficas dos carvões da Jazida Sul-Catarinense (SC) para avaliar o potencial para a geração de gás, observamos que de acordo com o *rank* obtido para as camadas estudadas, houve geração de gás (Karweil, 1969). O gás começa a ser gerado quando o carvão atinge um *rank* Betuminoso Alto Volátil (em uma temperatura de aproximadamente 80°C), e quanto maior o *rank*, maior o volume de gás gerado.

Como os baixos valores de gás dessorvido obtidos e/ou ausência de gás foram inesperados para o *rank* dos carvões estudados, acredita-se que o gás que foi gerado não ficou armazenado devido a

pouca espessura de sedimentos depositada acima das camadas de carvão. Na Jazida de Santa Terezinha (RS), a primeira camada de carvão foi encontrada na profundidade de 605 m (Kalkreuth *et al.*, 2008), enquanto que na Jazida Sul-Catarinense as profundidades do carvão são de 274,54 m (CBM-SC-2011), 292 m (CBM-SC-2012) e 166,14 m (CBM-SC-2013). Com isso, acredita-se que o gás gerado nas camadas de carvão da Jazida Sul-Catarinense (SC) escapou através de falhas e fraturas, devido a pouca espessura da coluna de sedimentos acima das camadas. Já na Jazida de Santa Terezinha (RS) o gás gerado permaneceu dentro das camadas de carvão, pois a espessura de sedimentos acima do carvão é de mais de 600 metros, o que teria contribuído para trapear o gás nas camadas.

Portanto, de acordo com as análises petrográficas e a interpretação dos dados obtidos, o carvão da Formação Rio Bonito da Jazida Sul-Catarinense tem as características necessárias para a geração de gás. Principalmente as camadas Barro Branco e Irapuá, por apresentarem o *rank* necessário para a geração de gás, alto conteúdo de vitrinite e baixo teor de cinzas e matéria mineral.

5 AGRADECIMENTOS

O estudo recebeu apoio financeiro do CNPq/FAPERGS através do projeto Pronex 10/0025-9. W.K agradece ao CNPq pela bolsa de produtividade em pesquisa 302238/2014-0. Agradecemos o apoio da Carbonífera Metropolitana no projeto do edital 51 do CNPq 405864/2013-2 e a Carbonífera Criciúma e a Maracajá Mineração Ltda. pela disponibilização dos poços estudados em SC.

6 REFERÊNCIAS

ASTM. D 3174-89. **Annual Book of ASTM Standards**. Sec. 05.05. Standard Test Method for Ash in the Analysis Sample of Coal and Coke from Coal. 1991. Philadelphia, PA, p. 326-328.

ASTM D2013/D2013M-12. **Standard Practice for Preparing coal samples for analysis**. ASTM International, West Conshohocken, PA. 2012. http://dx.doi.org/10.1520/D2013_D2013M-12 www.astm.org.

FILHO, A.T., MIZUSAKI, A.M.P., ANTONIOLI, L. Magmatismo nas bacias sedimentares brasileiras e

sua influência na geologia do petróleo. **Revista Brasileira de Geociências**, [S.l.]. 2008. v. 38(2), p.128-137.

ISO-7404/5. **Methods for the Petrographic Analysis of Bituminous Coal and Anthracite**. Part 5: Method of determining Microscopically the Reflectance of Vitrinite. 1984. 11p.

ISO-7404/3. **Methods for the Petrographic Analysis of Bituminous Coal and Anthracite**. Part 3: Methods for determining maceral group composition. 1985. 4p.

LEVANDOWSKI, J. H. **Petrologia e Geoquímica das camadas de carvão e sua relação com gás natural determinado no poço CBM 001-ST-RS, Bacia do Paraná**. Dissertação de mestrado, PPGeo/IG-UFRGS, Porto Alegre, 81p.

LEVANDOWSKI, J. H. **Características petrográficas e geoquímicas das camadas de carvão do poço CBM 001-CL-RS, jazida Chico Lomã, e sua relação com Coalbed Methane associado**. 2013. Tese de doutorado. PPGeo/IG-UFRGS, Porto Alegre. 167p

LOURENZI, P, KALKREUTH, W. 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, September 2014

KALKREUTH, W.; HOLZ, M.; KERN, M.; BURGER, H.; SCHAUF, A.; PRISSANG, R.; SOUZA, M. L.; RODRIGUEZ, C. **The coalbed methane potential of the Paraná Basin**. In: Congresso Brasileiro de Petróleo e Gás, 2, RJ, Anais, 2003. p.1-6. CD ROM

KALKREUTH, W., HOLZ, M., CASAGRANDE, J., CRUZ, R., OLIVEIRA, T., KERN, M., LEVANDOWSKI, J., ROLIM, S. **O potencial de Coalbed Methane (CBM) na jazida de Santa Terezinha – modelagem 3D e avaliação do poço de exploração CBM001-ST-RS**. Revista Brasileira de Geociências 38(2), 3-17. 2008.

MASTALERZ, M., DROBNIK, A., SCHIMMELMANN, A. Changes in optical properties chemistry and micropore and mesopore characteristics of bituminous coal at the contact with dikes in the Illinois Basin. **International Journal of Coal Geology**, v. 77, p. 310-319. 2009.

ROSA, A.L. **Avaliação das camadas de Carvão da Jazida Chico-Lomã, RS como fonte de energia pela extração do coalbed methane (Gás Natural).** 2015. Trabalho de Conclusão. IG-UFRGS.

TAYLOR, G. H.; TEICHMÜLLER, D. A., DIESSEL, C. F. K., LITKE, R.; ROBERT, P. **Organic Petrology.** 1998. Berlin, 704p.