

CARACTERIZAÇÃO PETROGÁFICA E QUÍMICA DOS CARVÕES USADOS NAS USINAS TERMELÉTRICAS NO SUL DO BRASIL E AVALIAÇÃO DOS IMPACTOS AMBIENTAIS ATRAVÉS DAS CINZAS GERADAS NO PROCESSO DE COMBUSTÃO

¹Delgado, T., ¹Brown, M., ²Maia, S. M., ¹Kalkreuth, W

¹Instituto de Geociências, ²Instituto de Química-UFRGS, Av. Bento Gonçalves, 9500, Bairro Agronomia

E-mail: wolfgang.kalkreuth@ufrgs.br

RESUMO

As usinas termelétricas no Brasil se concentram na região sul do Brasil. O objetivo do projeto é caracterizar petrográficamente e quimicamente os carvões usados nas Usinas Termelétricas de São Jerônimo, Charqueadas, Presidente Médice (RS) e Jorge Lacerda (SC), bem como traçar um comparativo entre os elementos traço encontrados nas cinzas leves e pesadas com as concentrações dos mesmos nos solos, águas e plantas próximas as usinas, levando em consideração a direção preferencial dos ventos para a coleta das amostras em diferentes distâncias. Para isso foi realizada a caracterização dos carvões e a determinação dos teores dos elementos traço nas cinzas leves e pesadas e nas amostras de solo, água e plantas através da técnica de espectrometria de massa com fonte de plasma indutivamente acoplado (ICP-MS). Resultados mostram valores médios de reflectância da vitrinite do carvão usados nas usinas termelétricas de Presidente Médice, São Jerônimo e Charqueadas foram entre 0,40 e 0,47 Rrandom, apontando um *rank* de subbetuminoso C para B. Nas amostras de carvão da usina termelétrica Jorge Lacerda mostraram uma variabilidade da reflectância média entre 0,85-1,26% Rrandom, indicando carvão betuminoso alto e médio volátil. Os carvões são tipicamente ricos em matéria inorgânica principalmente compostos de argila, quartzo e pirita (variando entre 37-53%). A determinação dos elementos traço nos carvões está em andamento, os resultados serão apresentados no congresso. Os elementos traço com maior abundância nas cinzas leves foram B, Mn, V, Zn e nas cinzas pesadas foram Cr, Mn, Ni, V para as Usinas Termelétricas de São Jerônimo, Charqueadas, Presidente Médice (RS) respectivamente. Na Usina Jorge Lacerda (SC) foram observados alto conteúdo em Cr, Mn, V e Zn ambos nas cinzas leves e pesadas. Os resultados preliminares sobre a distribuição dos elementos traço encontrados nos solos, água e plantas de acordo com a CETESB e o CONAMA estão classificados como limpos.

PALAVRAS-CHAVE: Carvão, Combustão, Cinzas Leves, Cinzas Pesadas, Elemento traço, Meio Ambiente.

1. INTRODUÇÃO

Em 2006 cerca de 39% da eletricidade do mundo foi produzida utilizando carvão (International Energy Agency, 2007), mas com a crescente demanda de energia elétrica esse percentual deve aumentar no futuro.

O carvão nacional é consumido principalmente pelas usinas termelétricas e pelas indústrias de cimento, cerâmica, papel e celulose. Carvão metalúrgico é produzido apenas em pequena escala. Em 2009 23,59% da eletricidade gerada no Brasil (25.081,35 MW) foi produzida por usinas termelétricas utilizando carvão, petróleo, gás natural e biomassa (ANEEL, 2009).

O Rio Grande do Sul possui três usinas termelétricas que utilizam carvão, Presidente Médici em Candiota (446 MW), São Jerônimo (20 MW) e Charqueadas (72 MW) e em Santa Catarina está a Usina de Jorge Lacerda em Capivari de Baixo (832 MW) (Figura 1).

Os carvões utilizados nas usinas termelétricas são provenientes de minas próximas às usinas. A usina Presidente Médici utiliza carvão extraído da mina de Presidente Médice. A usina de Charqueadas utiliza carvões extraídos das minas localizadas no município de Butiá, pertencentes à mineradora COPELMI. A

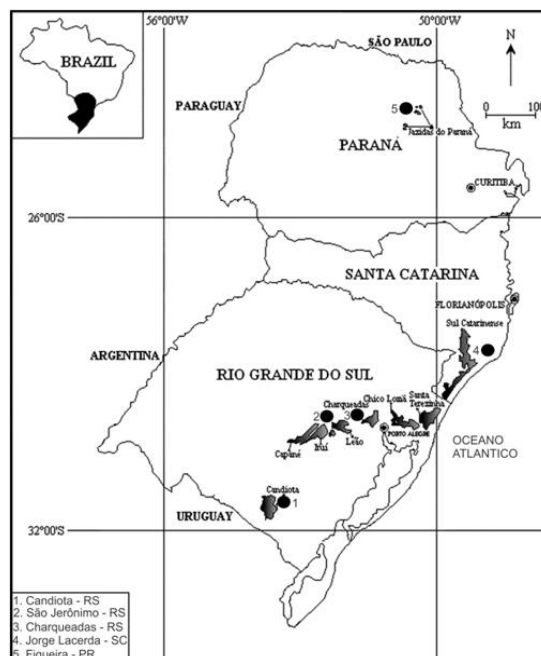
usina de São Jerônimo utiliza carvões extraídos das minas localizadas no município de Minas do Leão, pertencente à CRM. A usina de Jorge Lacerda, situada em Capivari de Baixo, usa carvão proveniente de várias minas diferentes na jazida de carvão Sul Catarinense.

Quando um carvão tem alto teor de matéria mineral, como por exemplo, o carvão brasileiro que tem mais de 50% de cinzas, 100 toneladas do carvão podem produzir cerca de 50 toneladas de cinzas. Durante a combustão de carvão são produzidos dois tipos de cinzas: 15 – 35% de cinzas pesadas e 65 – 85% de cinzas leves (Depoi et al., 2008). Cinzas pesadas são compostas de resíduos da combustão e são retidas abaixo da caldeira. Cinzas leves consistem de partículas finas que escapam da caldeira e são emitidas para a atmosfera. Houve uma redução significativa das emissões desde a introdução dos sistemas de recolhimento de cinzas, como precipitadores eletrostáticos (ESP), ciclones e filtros de mangas.

O processo de combustão pode causar poluição nas imediações da usina através da geração de cinzas, que podem conter elementos traço tóxicos. Tradicionalmente 26 elementos no carvão e nas cinzas são considerados de interesse ambiental (Swaine, 2000), sendo os de maior relevância As, Cd, Cr, Hg, Pb e Se pois, ocasionam maiores impactos no meio ambiente. As cinzas geradas pelo processo de combustão do carvão, não apresentam caráter totalmente inerte e podem, com o tempo, mobilizar tanto elementos traços da sua fração mineral (Querol et al, 1996), como compostos policíclicos aromáticos, presentes na matéria orgânica das partículas não-queimadas.

Estudos de elementos traço no carvão e as cinzas geradas através do processo de combustão realizados na Bulgária (Vassilev & Vassileva, 1997; Kalkreuth *et al.* (em prelo) mostraram que alguns elementos calcófilos, litófilos e siderófilos poderiam ser volatilizados parcialmente para a atmosfera durante este processo. Elementos traços também podem ocorrer de modo dissolvido nas águas associadas com as cinzas pesadas. Alguns elementos traços (Sr, Yb, Sc, Ba, Cd, Tl, Pb e Bi) podem ser acumulados também na vegetação situada próxima à usina e nos locais do solo nas áreas próximas à usina (Vassilev e Vassileva, 1997)

Figura 1: Distribuição das jazidas de carvão nos estados Rio Grande do Sul, Santa Catarina e Paraná e localização das usinas termelétricas.



2. OBJETIVOS

O objetivo deste estudo é a caracterização dos carvões utilizado em usinas termelétricas do Rio Grande do Sul, Presidente Médice (Figura 2), São Jerônimo e Charqueadas (Figura 3) e Santa Catarina, Usina Termelétrica Jorge Lacerda (Figura 4) e um exame dos elementos traço presentes nas cinzas provenientes dessas usinas. Este estudo também objetiva avaliar possíveis impactos ambientais por elementos traço oriundo do processo de combustão nos solos, águas e plantas do entorno da usina abrangendo raios de 100 a 5000 m de distância na direção preferencial dos ventos.

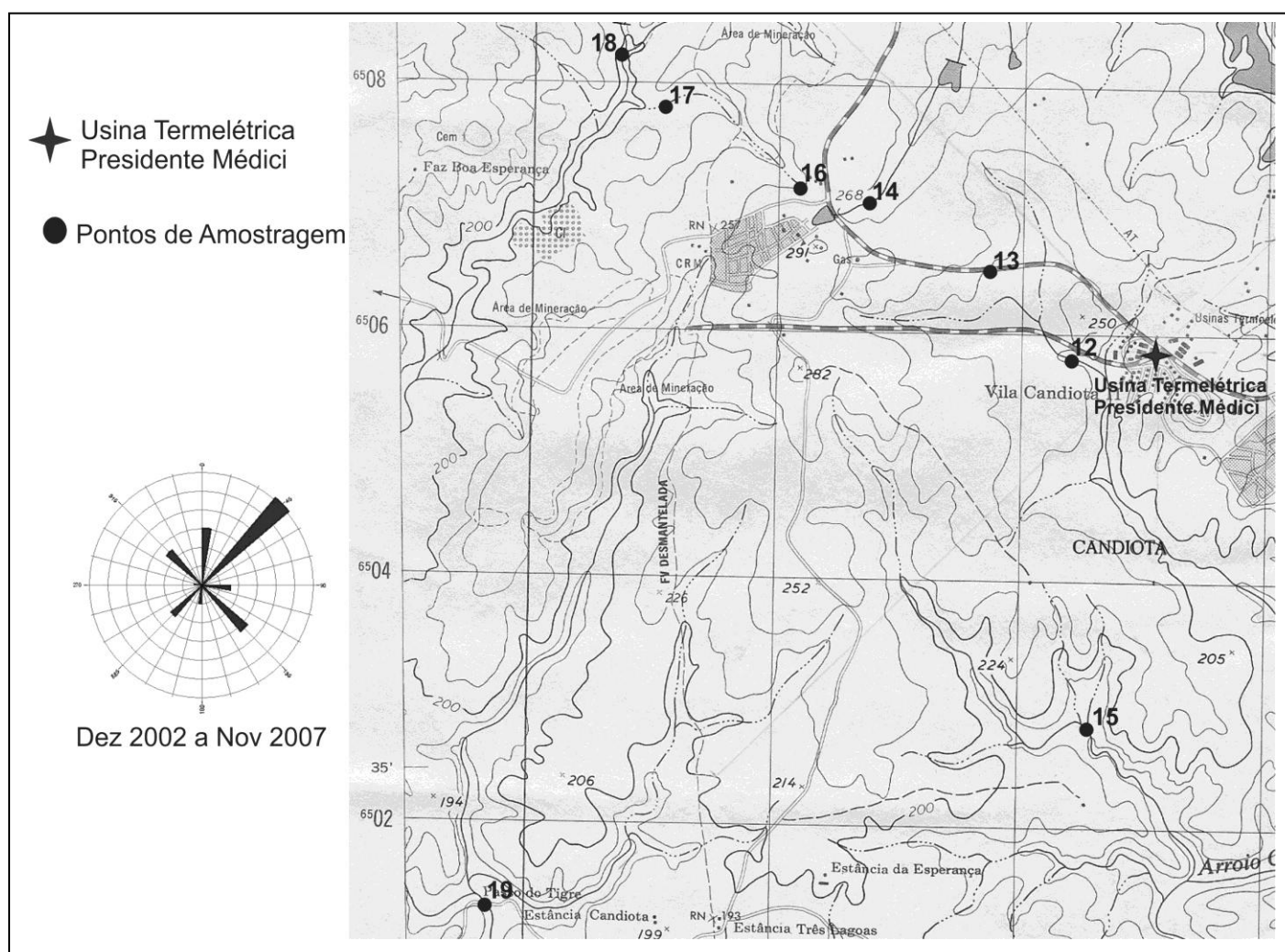


Figura 2: Localização da Usina Termelétrica Presidente Médice e dos pontos amostrados de acordo com a direção dos ventos da região.

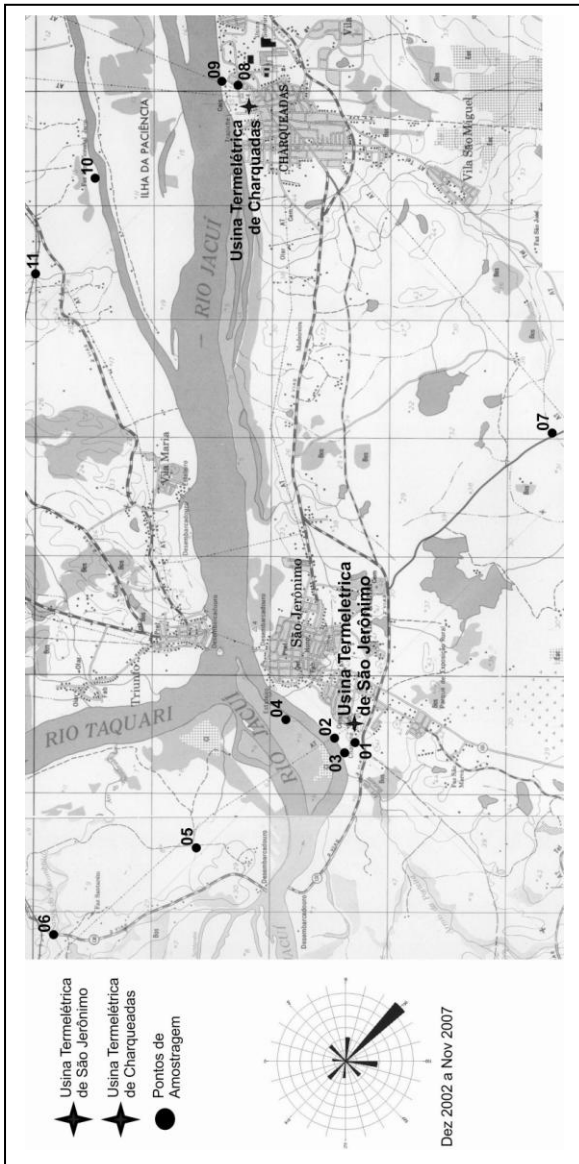


Figura 3: Localização das Usinas Termelétricas de Charqueadas e São Jerônimo e os pontos amostrados de acordo com a direção dos ventos da região.

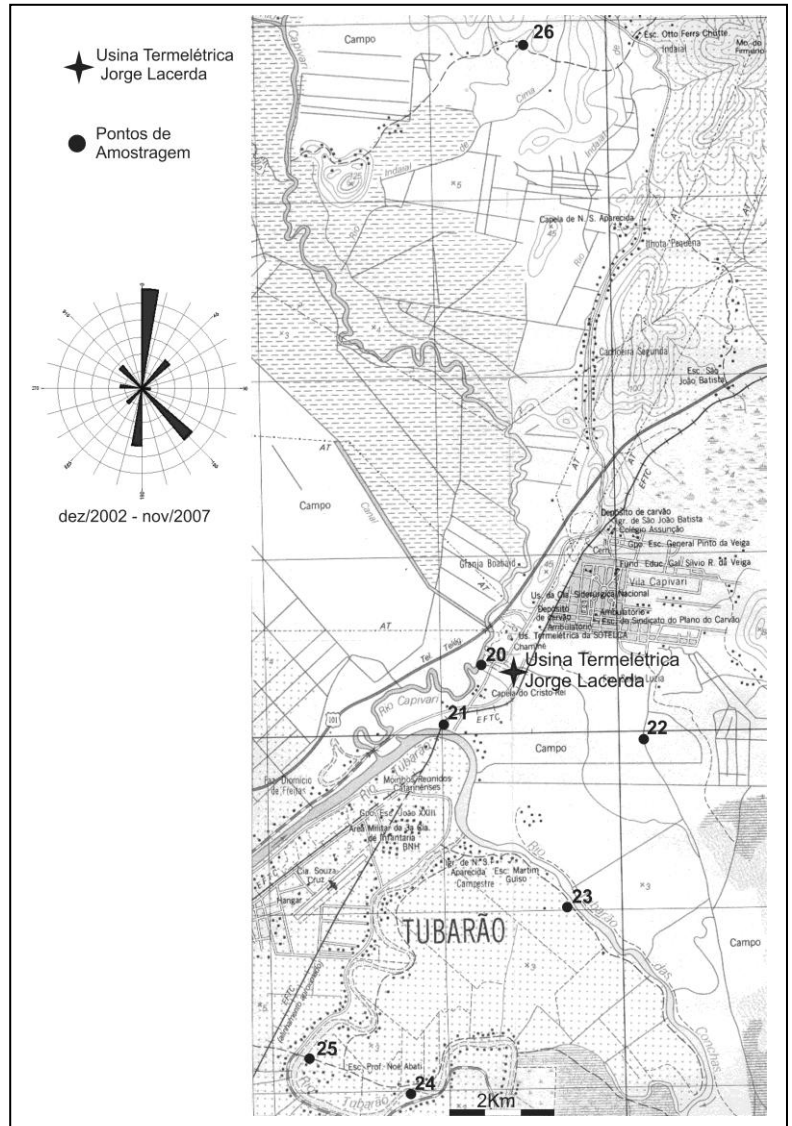


Figura 4: Localização da Usina Termelétrica Jorge Lacerda e os pontos amostrados de acordo com a direção dos ventos.

3. AMOSTRAGEM

3.1 Amostragem de Carvão e Cinzas

Amostras de *feed coal*, cinzas pesadas e cinzas leves foram obtidas nas usinas termelétricas em intervalos de 2-6 meses nos anos 2008-2009 (Tabela I).

Tabela I: Datas de coleta das amostras de *feed coal*, cinzas leves e pesadas nas usinas.

Presidente Médice	Charqueadas	São Jerônimo	Jorge Lacerda
04/08/2008	24/07/2008	25/05/2008	14/07/2008
23/12/2008	24/11/2008	27/09/2008	24/11/2008
04/04/2009	02/04/2009	02/04/2009	25/06/2009
05/08/2009	17/08/2009	03/06/2009	17/08/2009

As amostras de carvão foram coletadas em diferentes fases da preparação para a combustão: carvão bruto, britado ou pulverizado. Uma amostra de carvão bruto ou britado era coletada junto com uma amostra pulverizada em cada intervalo de amostragem nas usinas Presidente Médice e Jorge Lacerda.

As amostras obtidas na usina de Charqueadas consistiram de carvão bruto e amostras de carvão britado. Foram coletadas amostras de carvão bruto na unidade de processamento da COPELMI e amostras de carvão britado na esteira depois da britagem. Não foi possível obter carvão pulverizado utilizado na usina de Charqueadas

A usina de São Jerônimo é a única do grupo de usinas estudadas que não utiliza a tecnologia de injeção de carvão pulverizado. O carvão bruto de São Jerônimo foi obtido dos estoques de carvão armazenados na unidade e o carvão britado foi retirado da correia transportadora principal para os silos de armazenamento.

As cinzas pesadas e leves foram coletadas no mesmo período da amostragem do carvão. As cinzas pesadas foram coletadas nas esteiras que as levam para a bacia de armazenamento. As cinzas leves foram coletadas no sistema de recolhimento de cinzas (em São Jerônimo um aspirador ciclone, na Presidente Médice, Charqueadas e Jorge Lacerda no funil de saída dos precipitadores eletrostáticos).

3.2 Amostragem de Solos, Águas e Plantas

Foi realizada um estudo sobre a direção preferencial dos ventos referentes a cinco anos, a contar do dia 01 de dezembro de 2002. Os valores foram cedidos pelo Instituto Nacional de Meteorologia – INMET, 8º Distrito de Meteorologia de Porto Alegre, que realiza três medidas diárias. Estes valores passaram por um tratamento estatístico indicando que a direção preferencial dos ventos nas regiões. As amostras foram coletadas distando 250, 500, 1000, 2000, 3000, 4000, 5000m (sete pontos de amostragem) das usinas em estudo na direção preferencial dos ventos. Nos pontos foram coletadas amostras de solo, água e plantas.

Ao todo foram coletadas 62 amostras de solo, 60 amostras de água e 27 amostras de planta.

3.2.1 Solos : Foram feitos até 8 pontos de amostragem para cada usina e em cada um deles foram coletadas duas amostras de solo. As amostras de solo foram divididas em camada superficial (S1) de 10 a 20 cm de espessura, e camada profunda (S2) com 20 a 40 cm, estas foram preparadas para análises de ICP-MS.

3.2.2 Águas: Foram coletadas até 8 amostras de água superficial entre 5 e 10 cm profundidade, para cada usina, água não acidificada (A) e acidificada com Ácido Nítrico concentrado ~3ml (B), só as amostras acidificadas foram usadas no estudo dos elementos traço por ICP-MS.

3.2.3 Plantas: Foram coletadas até 8 amostras para cada usina de plantas indicadas como biomarcadores (nativas) preparadas para análise por ICP-MS.

4. METODOLOGIA

4.1 Análises Petrográficas e Químicas de Carvão e Cinzas

Análises petrográficas incluíram determinação quantitativa dos grupos de macerais e macerais individuais (análise de macerais *ISO-7404/3*, 1985) e determinação do grau de carbonificação (*rank*) utilizando a técnica da reflectância da vitrinite (*ISO 7404/5*, 1985).

Análises químicas incluíram análise imediata, ASTM D 3173, 1991; ASTM D 3174, 1991; ASTM D 3175, 1991; análise elementar ASTM D 5373, 1997; poder calorífico ASTM D 2015, 1991; teor de enxofre, difratometria de raios-X, espectrometria de massa com plasma indutivamente acoplado (*ICP-MS*), fluorescência de raios-X (FRX) e carbono orgânico total (COT).

4.2. Análise de elementos traço nos solos, águas e plantas

As análises foram realizadas num espectrômetro de massa com fonte de plasma indutivamente acoplado (ICP-MS), modelo Elan 6000, da PE-SCIEX, utilizando nebulização pneumática convencional. Os elementos determinados foram As, B, Be, Cd, Co, Cr, Cu, Li, Mn, Mo, Ni, Pb, Sb, Se, Tl, U, V e Zn. As amostras de solo (0,25 g) foram decompostas em meio ácido (6 mL HNO₃ + 2 mL HF). Para as amostras de plantas (0,3 a 0,5 g), foi utilizada uma mistura de 9 mL HNO₃ + 0,5 mL HF. Já as amostras de cinzas (0,2 g), foram decompostas numa mistura de 7 mL de HNO₃ + 3 mL de HF + 2 mL de H₂O₂. As decomposições foram feitas em frascos de Teflon® aquecidos em bloco digestor por 12 horas/140°C, 12 horas/160°C e 6 horas/200°C, para as amostras de solos, plantas e cinzas, respectivamente. Após resfriamento, as misturas foram transferidas para frascos de polipropileno e o volume completado com água desionizada até 50 mL. As amostras foram decompostas em triplicata. As amostras de água foram preparadas de duas maneiras diferentes: filtradas através de membrana GS em éster de celulose (0,22µm de poro e 47 mm de diâmetro) e centrifugadas. Todas as soluções foram posteriormente diluídas para as análises no ICP-MS, que foram feitas por calibração externa. Para validação das metodologias foram analisadas as amostras certificadas SRM 1643e (Trace Elements in Water), SRM 2709 (San Joaquim Soil), SRM 1633 (Trace elements in coal fly ash) do NIST e GBW07602 (Bushes and Leaves) do IGGE.

5. RESULTADOS

5.1. Carvão

5.1.1. Análises Petrográficas e Químicas

Resultados mostram valores médios de reflectância da vitrinite do carvão usados nas usinas termelétricas de Presidente Médice, São Jerônimo e Charqueadas foram entre 0,40 e 0,47 Rrandom (Tabela II), apontando um *rank* de subbetuminoso C para B. Nas amostras de carvão da usina termelétrica Jorge Lacerda mostraram uma variabilidade da reflectância média entre 0,85-1,26% Rrandom, indicando carvão betuminoso alto e médio volátil (Tabela II). Os carvões são tipicamente ricos em matéria orgânica principalmente compostos de argila, quartzo e pirita (variando entre 37-53 vol%).

Quanto à composição petrográfica das amostras (valores sem matéria mineral) o montante total de vitrinite nas amostras das usinas termelétricas em estudo variou de; 26,6 – 63,8% (vol%) para Presidente

Médice, 27,8– 50,2% (vol%) para Charqueadas, 25,0 – 45,6% (vol%) para São Jerônimo e 55,0 – 73,7% (vol%) para Jorge Lacerda.

O teor de intertinitas variou de; 15,4 – 28,2% (vol%) nas amostras de Presidente Médice, 14,2 – 25,8% (vol%) nas de Charqueadas, 22,8 – 35,2% (vol%) nas de São Jerônimo e 20,9 – 34,2 % (vol%) para Jorge Lacerda.

A quantidade de liptinitas variou de 3,8 – 14,8% (vol%) nos carvões de Presidente Médice, 6,2 – 14,4% (vol%) nos de Charqueadas, 9,0 – 17,2% (vol%) nos de São Jerônimo e 4,2 – 10,7 % (vol%) nos de Jorge Lacerda.

A percentagem de matéria mineral variou de; 9,6 – 44,0% (vol%) nas amostras de Presidente Médice, 27,4 – 40,2% (vol%) nas amostras de Charqueadas e 15,8 – 32,2% (vol%) nas amostras de São Jerônimo. Dos minerais, a argila foi o mais abundante. O quartzo, normalmente, era o segundo mineral mais abundante observado nos carvões, seguido pela pirita.

5.1.2. Análise Imediata

As amostras de carvão da usina de Presidente Médice têm valores de umidade variando de 2,7 – 10,1% (peso), com média de 5,3% (peso). A percentagem de rendimento de cinzas variou 47,1 – 52,3% (peso), com média de 49,0% (peso). A percentagem de matéria volátil variou de 19,7 – 21,4% (peso), cuja média foi de 20,4% (peso). O carbono fixo calculado em valores variou de 22,9 – 26,8% (peso), com média de 25,3% (peso) (Tabela II).

As amostras de carvão da usina de Charqueadas têm valores de umidade que variaram de 2,2 – 6,5% (peso), com média de 4,6% (peso). Os valores de rendimento das cinzas variaram de 42,6 – 53,6% (peso), com média de 47,6% (peso). A percentagem de matéria volátil variou de 20,2 – 23,1% (peso), com média de 21,5% (peso). Os valores de carbono fixo variaram de 22,6 – 29,7% (peso), com média de 26,3% (peso) (Tabela II).

A percentagem de umidade das amostras de carvão da usina de São Jerônimo (como recebidas) variou de 3,1 – 7,2% (peso) com média de 5,2% (peso). Os valores de rendimento das cinzas variaram de 37,0 – 41,7% (peso), com média de 38,9% (peso). As matérias voláteis nas amostras de carvão de São Jerônimo variaram de 23,0 – 24,7% (peso), com média de 24,1% (peso). O carbono fixo calculado para as amostras apresentou valores variando de 29,7 – 33,0% (peso), com média de 31,8% (peso) (Tabela II).

As amostras de carvão da usina de Jorge Lacerda apresentaram valores de umidade variando de 1,1 – 1,9% (peso), com média de 1,6% (peso). O rendimento das cinzas variou de 37,1 – 43,2% (peso), com média de 40,5% (peso). A percentagem de matéria volátil variou de 20,1 – 22,2% (peso), com um valor médio de 21,1% (peso). A percentagem de carbono fixo variou de 34,5 – 41,4% (peso), com média de 36,8% (peso) (Tabela II).

5.1.3. Análise Elementar (C, H, N, O, S)

O carvão da usina de Presidente Médice apresentou percentagens de C entre 30,5 – 35,6% (peso), com média de 32,2% (peso). A percentagem de H variou de 2,8 – 3,1% (peso) e teve média de 2,9% (peso). Valores de N variaram entre 0,6 – 0,7% (peso), com média de 0,7% (peso). O teor de S variou de 1,2 – 1,9% (peso) e teve média de 1,4% (peso). Os valores calculados de O variaram de 11,3 – 17,2% (peso) e tiveram média de 13,9% (peso) (Tabela II).

O carvão da usina de Charqueadas tem percentagens de carbono que variaram entre 32,3 e 38,0% (peso) com média de 34,4% (peso). A percentagem de H variou entre 2,2 – 3,4% (peso) com média de 3,1% (peso). A percentagem de N variou entre 0,7 – 0,8% (peso), com média de 0,7% (peso). As percentagens de

S variaram de 0,7 – 1,4% (peso) com média de 0,9% (peso). Os valores calculados de O variaram de 9,2 – 15,7% (peso) e tiveram média de 13,3% (peso) (Tabela II).

O carvão da usina de São Jerônimo apresentou teores de C que variaram de 35,4 – 41,9% (peso), com média de 40,4% (peso). As percentagens de H variaram de 3,1 – 3,6% (peso) com média de 3,4% (peso). Os valores obtidos para N variaram de 0,77 – 0,89% (peso) e têm média de 0,8% (peso). O teor de S variou de 0,49 – 0,95% (peso) com média de 0,7% (peso). As percentagens calculadas de O variaram de 13,8 – 22,8% (peso) com média de 15,7% (peso) (Tabela II).

O carvão da usina de Jorge Lacerda teve percentagens de C que variaram de 44,9 – 52,2% (peso) com média de 47,0% (peso). O percentual de H variou de 3,3 – 3,6% (peso) e teve média de 3,4% (peso). Valores de N variaram de 0,9 – 1,2% (peso) e tiveram média de 1,0% (peso). Estas amostras apresentaram os maiores valores de S, que variaram de 1,8 – 2,2% (peso) e tiveram média de 2,0% (peso). Os valores calculados de O variaram de 4,1 – 7,3% (peso), com média de 6,0% (peso) (Tabela II).

5.1.4. Poder Calorífico

Os valores mais baixos de poder calorífico foram obtidos para os carvões da usina termelétrica de Presidente Médice, que variaram de 2669 cal/g – 3116 cal/g e tiveram média de 2928 cal/g (Tabela II). Os resultados obtidos para Charqueadas variaram de 2987 cal/g – 3473 cal/g e tiveram média de 3156 cal/g. O poder calorífico das amostras de São Jerônimo variou de 3642 cal/g – 3949 cal/g e teve média de 3834 cal/g (Tabela II). Amostras de Jorge Lacerda tiveram o maior poder calorífico, que variou de 4290 cal/g – 4861 cal/g com média de 4510 cal/g (Tabela II), o que foi consistente com o fato de esse carvão possuir os níveis mais elevados de *rank*.

Tabela II. Resultados da refletância da vitrinita e a composição petrográfica das amostras, análise imediata, elementar, determinação do poder calorífico e teor de enxofre das amostras de carvão.

Presidente Médice																
CV	Amostra	Ro	V	L	I	U	Cz	M.V.	C.F.	C	H	O	N	S	PC	PC (d.a.f.)
bruto	08-202	0,41	62,5	12,6	24,9	10,1	47,3	19,7	22,9	30,5	2,8	17,2	0,7	1,6	2669	6265,26
pulv.	08-203	0,42	62,2	6,7	31,1	5,3	49,3	21,4	24,0	31,3	2,8	14,6	0,7	1,3	2871	6323,79
bruto	08-243	0,41	64,0	9,9	26,1	7,0	47,1	20,2	25,7	31,8	3,0	15,6	0,6	1,9	2929	6381,26
pulv.	08-244	0,39	70,6	4,2	25,2	4,8	50,7	20,6	23,9	31,1	2,9	13,3	0,7	1,3	2799	6289,89
pulv.	09-112	0,41	49,1	14,9	36,0	3,5	52,3	19,8	24,4	31,0	2,8	11,5	0,6	1,7	2808	6352,94
britado	09-113	0,44	43,7	18,3	38,0	4,6	44,3	21,1	30,0	35,6	2,9	15,8	0,7	0,7	3259	6377,69
bruto	09-213	0,41	48,8	21,9	29,3	4,1	48,5	20,6	26,8	34,2	3,1	12,3	0,6	1,2	3116	6573,84
britado	09-214	0,47	54,1	10,4	25,1	5,6	49,2	19,5	25,7	32,5	3,0	13,7	0,7	0,9	3001	6639,38
pulv.	09-215	0,38	47,5	20,7	31,8	2,7	51,9	20,8	24,6	31,7	2,8	11,3	0,7	1,6	2904	6396,48
Media		0,41	55,82	13,30	29,72	5,3	49,0	20,4	25,3	32,2	2,9	13,9	0,7	1,4	2928	6401,75
Continuação da Tabela II																
São Jerônimo																
CV	Amostra	Ro	V	L	I	U	Cz	M.V.	C.F.	C	H	O	N	S	PC	PC (d.a.f.)
bruto	08-104	0,48	58,6	11,6	29,8	5,0	37,5	24,7	32,8	41,9	3,6	15,2	0,9	0,9	3943	6857,39
britado	08-105	0,42	51,3	15,0	33,6	5,1	40,6	24,0	30,3	40,4	3,4	13,8	0,9	0,9	3725	6860,04
britado	08-217	0,52	49,4	14,5	36,1	5,3	37,0	24,7	33,0	35,4	3,2	22,8	0,8	0,8	3949	6844,02
bruto	08-218	0,51	46,7	13,9	39,5	5,4	37,8	24,7	32,1	42,0	3,1	15,6	0,8	0,7	3875	6822,18

bruto	09-082	0,48	37,0	18,5	44,6	4,7	40,0	23,7	31,6	40,8	3,6	14,3	0,8	0,5	3782	6839,06
britado	09-083	0,43	48,2	21,9	29,8	5,6	41,7	23,0	29,7	39,0	3,5	14,0	0,8	0,9	3642	6910,82
bruto	09-116	0,47	35,5	21,9	42,6	7,2	37,9	23,3	31,6	41,3	3,4	16,1	0,8	0,5	3816	6950,82
britado	09-117	0,46	40,7	21,4	37,9	3,1	38,5	24,8	33,6	42,5	3,5	13,9	0,8	0,7	3942	6750,00
Media		0,47	45,93	17,34	36,74	5,2	38,9	24,1	31,8	40,4	3,4	15,7	0,8	0,7	3834	6852,99
Charquadas																
CV	Amostra	Ro	V	L	I	U	Cz	M.V.	C.F.	C	H	O	N	S	PC	PC (d.a.f.)
bruto	08-184	0,42	61,9	10,8	27,3	5,4	45,2	21,8	27,6	36,3	3,3	13,2	0,8	1,3	3320	6720,648
britado	08-185	0,42	58,4	13,5	28,1	4,6	42,6	23,1	29,7	38,0	3,3	14,5	0,8	0,8	3473	6577,652
britado	08-237	0,45	53,8	18,3	27,9	6,3	48,4	20,2	25,1	32,6	3,1	14,5	0,7	0,8	2987	6593,819
bruto	08-240	0,48	47,5	18,5	34,0	6,5	45,9	21,0	26,6	33,8	3,1	15,7	0,7	0,7	3098	6508,403
britado	09-086	0,46	55,5	11,7	32,8	2,2	50,3	21,7	25,8	32,3	2,9	12,8	0,7	1,0	2990	6294,737
bruto	09-087	0,48	71,1	8,8	20,1	6,0	48,0	20,8	25,2	33,7	3,2	13,0	0,7	1,4	3105	6750,000
bruto	09-216	0,46	44,8	23,2	31,9	3,0	53,6	20,8	22,6	32,9	3,0	9,2	0,7	0,6	2994	6898,618
britado	09-217	0,42	50,8	15,1	34,1	2,8	46,6	22,5	28,1	35,4	3,2	13,3	0,8	0,8	3281	6484,190
Media		0,45	55,48	14,97	29,55	4,6	47,6	21,5	26,3	34,4	3,1	13,3	0,7	0,9	3156	6599,059
Jorge Lacerda																
CV	Amostra	Ro	V	L	I	U	Cz	M.V.	C.F.	C	H	O	N	S	PC	PC (d.a.f.)
pulv.	08-173	0,97	49,8	37,7	12,5	1,7	42,3	20,1	35,9	44,9	3,3	6,4	1,0	2,1	4290	7660,714
britado	08-174	0,91	35,1	39,4	25,5	1,1	40,8	22,2	35,9	46,5	3,5	6,1	1,0	2,2	4509	7760,757
britado	08-233	0,95	42,0	43,6	14,4	1,6	39,7	22,1	36,6	46,7	3,5	7,1	1,0	2,0	4476	7625,213
pulv.	09-017	0,99	44,5	36,1	19,3	1,9	42,0	20,5	35,6	45,7	3,3	6,1	1,0	2,0	4345	7745,098
bruto	09-120	0,85	29,9	38,9	31,2	1,4	38,4	22,1	38,1	49,6	3,5	5,6	1,1	1,8	4834	8029,900
pulv.	09-121	0,85	25,0	55,5	19,5	1,8	43,2	20,5	34,5	45,0	3,3	5,3	0,9	2,2	4342	7894,545
britado	09-267	1,26	19,0	32,5	48,5	1,2	37,1	20,3	41,4	52,2	3,6	4,1	1,2	1,8	4861	7878,444
pulv.	09-268	0,86	37,5	48,9	13,6	1,7	40,8	21,4	36,1	45,7	3,5	7,3	0,9	1,8	4423	7692,174
Media		0,96	35,36	41,58	23,06	1,6	40,5	21,1	36,8	47,0	3,4	6,0	1,0	2,0	4510	7787,611

Legenda: Cv-carvão; Ro-rank; V-vitrinita; L-liptinita; I-inertinita (Vol%), U, umidade %; Cz, cinza (b.s.) %; MV, matéria volátil (d.a.f.); CF, carbono fixo; C, carbono %; H, hidrogênio %; N, nitrogênio %; O, oxigênio%; S-enxofre; PC - poder calorífico, Cal/g – calorías por grama, d.a.f. – base seca sem cinzas.

5.2. Cinzas

5.3.1. Difração de Raio X das Cinzas

As assembléias de minerais presentes nas cinzas leves e pesadas são muito diferentes. Nas cinzas leves, quartzo e mulita foram os principais minerais detectados, com vestígios eventuais de K feldspato. Nas cinzas pesadas as assembleias minerais foram mais variáveis. Quartzo e a mulita também foram os minerais mais abundantes, K-feldspato foi o terceiro mineral mais abundante, seguido por teores menores de calcita e albita. A caolinita em geral tem sua estrutura cristalina destruída durante a combustão, mesmo assim foi detectada em duas amostras de cinzas da usina de São Jerônimo. Sua presença indica que parte da caolinita passou ileso pelo processo de combustão e foi depositada nas cinzas. Da mesma forma a calcita também é remanescente, apesar de sua pouca resistência a altas temperaturas.

5.3.2. Carbono Orgânico Total (COT) das Cinzas

A análise de COT das cinzas da usina termelétrica Presidente Médice apresentou valores de 0,1 – 1,9% (peso) nas cinzas pesadas e de 0,1 – 1,0% (peso) nas cinzas leves. As cinzas pesadas de Charqueadas apresentaram valores de carbono de 6,4 – 12,2% (peso) e as cinzas leves de 0,4 – 2,0% (peso) (Figuras 5 e 6). As cinzas de São Jerônimo apresentaram os maiores valores de carbono de todas as amostras, com teores de 14,8 – 20,7% (peso) nas cinzas pesadas e 4,4 – 17,7% (peso) nas cinzas leves. Jorge Lacerda apresentou valores de carbono de 1,4 – 3,5% (peso) nas cinzas pesadas e de 0,1 – 1,3% (peso) nas cinzas leves (Figuras 5 e 6).

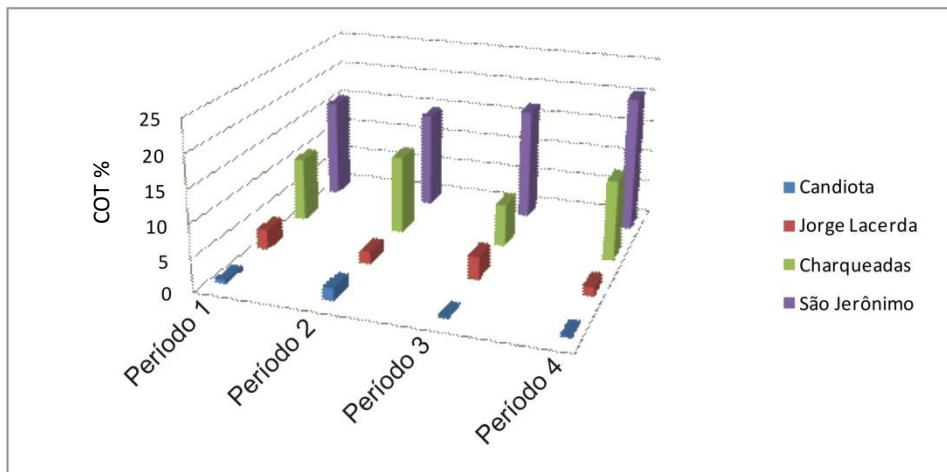


Figura 5: Variação no teor de COT das amostras de cinzas pesadas, durante os diferentes períodos de coleta.

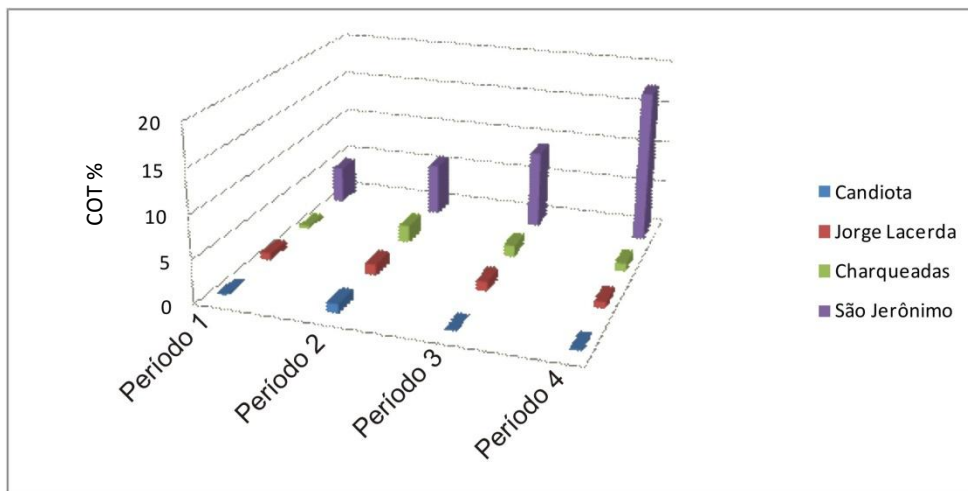


Figura 6: Variação no teor de COT das amostras de cinzas leves, durante os diferentes períodos de coleta.

5.3.3. Petrologia das Cinzas

As amostras de cinzas pesadas e leves foram observadas ao microscópio óptico. Várias texturas foram observadas e correlacionadas com o sistema de classificação de cinzas proposto por Lester et al. (2010). Nas cinzas da usina de Presidente Médice ocorreram principalmente partículas de matéria mineral, incluindo resíduos vitrificados e esferas com estruturas eutéticas espinélio. A maioria das partículas carbonosas de *char* eram pequenas partículas sólidas (*solid/fusinoid*) encontradas em grãos vítreos, mas também ocorreram

alguns *crassinetworks*. As amostras de cinzas leves continham mais material carbonoso em forma de *crassinetwork* e partículas sólidas (*solid/fusinoid*), mas também continham partículas de matéria mineral (*mineroid*) semelhantes às amostras de cinzas pesadas.

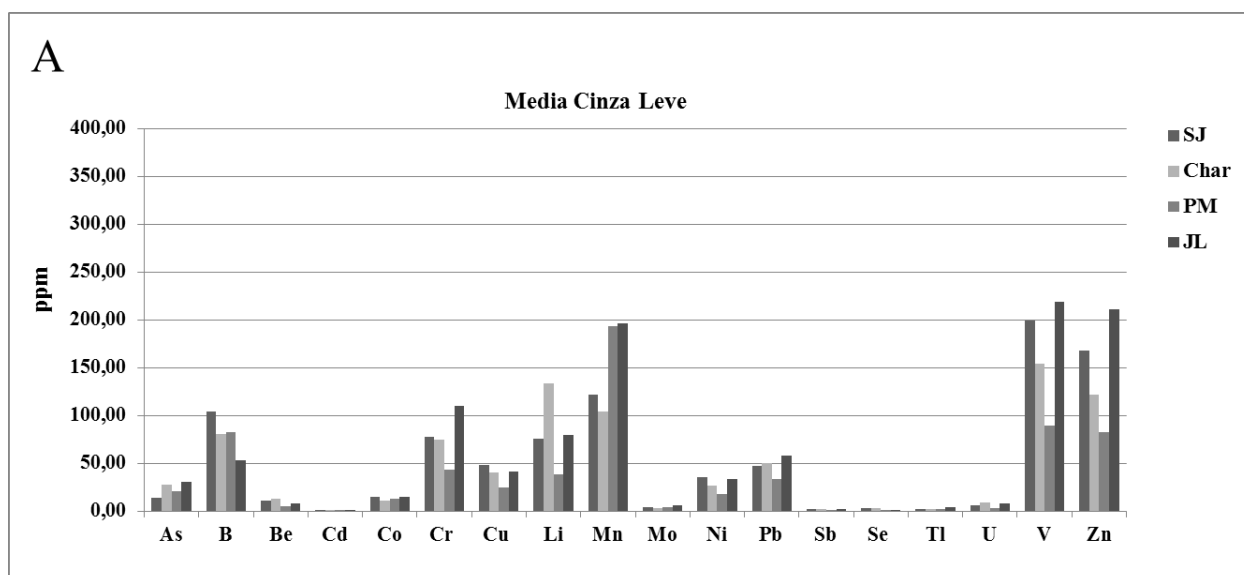
As cinzas pesadas e leves da usina de Charqueadas continham grãos derivados de vitrinita na forma de *crassispheres* e *crassinetworks*. Também foi observada a presença de partículas misturadas densas (*mixed dense*) e sólidas (*solid/fusinoid*) associadas com macerais do grupo inertinita. As amostras de cinzas pesadas tiveram uma variação mais ampla de partículas minerais do que as amostras de cinzas leves. Vidros e espinélio eram abundante nas cinzas leves e pesadas.

Nas amostras de cinzas pesadas e leves da usina de São Jerônimo, havia mais grãos de carvão não reagido ou queimado apenas parcialmente. As amostras de cinzas pesadas continham muitas partículas de misturas densas (*mixed dense*) derivadas da fusinita. Também estiveram presentes partículas de vidro com resíduos carbonosos (*mineroids*) que se formaram devido à reação parcial com as partículas de vitrinita e fusinita. Quartzo, espinélio e alguns minerais não identificados também foram observados. As amostras de cinzas leves continham partículas densas (*mixed dense*) e sólidas (*solid/fusinoid*), partículas que não reagiram e algumas *crassispheres*.

Nas cinzas da usina de Jorge Lacerda havia partículas *tenuinetwork*, bem como abundantes partículas sólidas densas (*mixed dense*) derivadas coque de petróleo. Esferas com estruturas eutéticas (espinélio) e resíduos vitrificados, foram observadas nas amostras de cinzas leves e nas de cinzas pesadas. As amostras de cinzas leves continham *tenuisphere* e *tenuinetwork* derivados da vitrinita e partículas mistas densas relacionadas aos macerais do grupo inertinita.

5.3.4. Análise de elementos traço nas Cinzas

Nas cinzas as maiores concentrações de elementos traço determinados pela Espectrometria de Massa com Plasma Indutivamente Acoplado (*ICP-MS*) são B, Cr, Mn, Li, V, Zn para as Usinas Termelétricas de São Jerônimo, Charqueadas, Presidente Médice (RS) e Jorge Lacerda (SC), nas cinzas pesadas também se destaca o Ni.



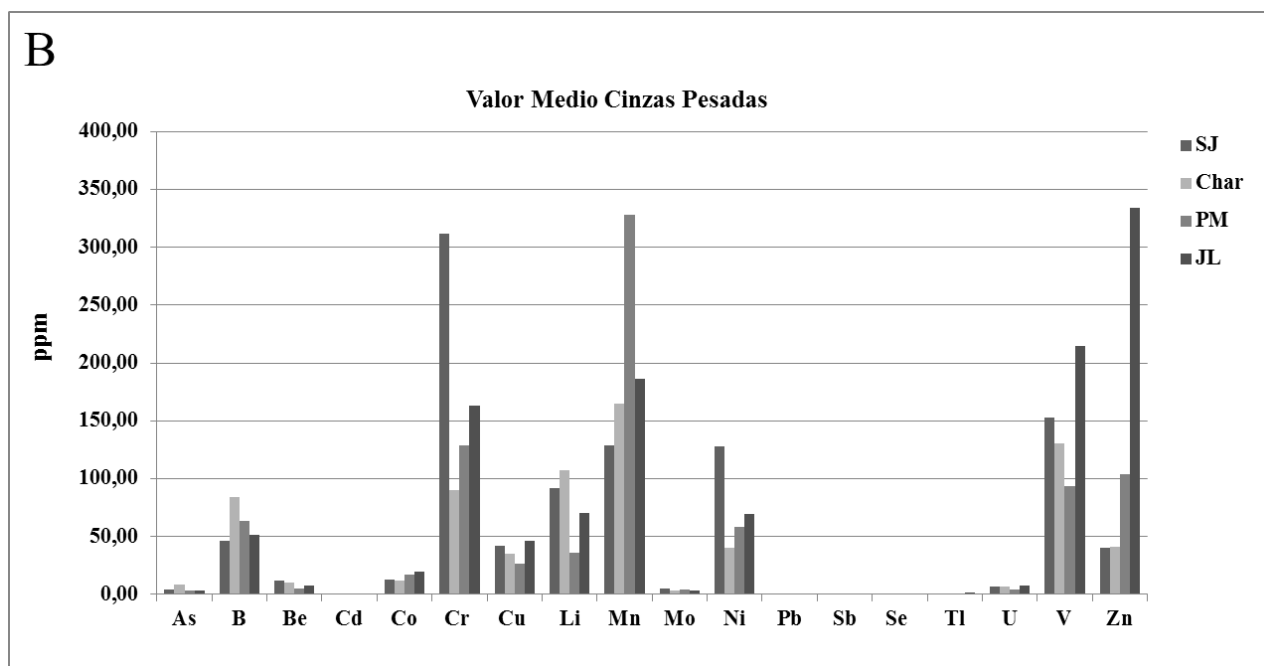


Figura 7: Gráficos mostrando os valores médios dos elementos traço das cinzas leves (A) e cinzas pesadas (B) nas usinas São Jerônimo (SJ), Charqueadas (Char), Presidente Médice (Cand) e Jorge Lacerda (JL)

Tabela III. Identificação dos elementos-traço contidos nas cinzas (em ppm) identificados pelo ICP-MS.

Cinzas Leves - São Jerônimo																		
Amostras	As	B	Be	Cd	Co	Cr	Cu	Li	Mn	Mo	Ni	Pb	Sb	Se	Tl	U	V	Zn
08-107	14,3	93,46	9,89	1,2	11,3	62,14	43,1	91,84	156,3	3,6	21,1	46,4	1,8	3,2	2,9	4,83	168,2	141,8
08-215	17,4	118,6	13,1	1,7	21,4	85,6	63,2	84,68	139,2	5	50,4	60,3	2,5	6,6	2,7	7,74	261,8	207,5
09-080	19,9	99,6	12	1,9	15,2	76,68	50,2	68,84	111	4,1	36,2	65,4	2,6	3,1	3,6	6,18	205,5	315,8
09-114	5,07	105,7	9,26	0,5	11	87,1	35,5	56,09	79,44	3,6	34,4	19,2	1,4	1,2	1,4	4,88	161,8	6,61
Media	14,18	104,34	11,05	1,29	14,76	77,88	47,99	75,36	121,50	4,07	35,52	47,81	2,06	3,50	2,68	5,91	199,32	167,90
Cinzas Leves - Charqueadas																		
Amostras	As	B	Be	Cd	Co	Cr	Cu	Li	Mn	Mo	Ni	Pb	Sb	Se	Tl	U	V	Zn
08-188	28,7	76,9	13,5	0,7	10,6	84,21	43,8	159,6	115,6	2,9	29,3	52,1	2,6	1,7	2,4	9,85	171	112,8
08-239	43,3	93,05	15,1	1	12,2	82,65	45,1	141,7	112,1	3,3	30,2	80,2	3,3	9,5	2,9	10,5	155	184,6
09-084	18,4	73,16	10,6	0,6	10,1	59,1	33	100,2	108,9	2,5	23,7	32,9	2,1	0,8	2	6,05	123,8	97,52
09-219	22,2	80,28	11,5	0,6	9,77	71,34	40,4	134,7	81,88	3	24,7	36,8	2,4	1,3	2,1	8,08	165,4	92,99
Media	28,14	80,85	12,69	0,72	10,66	74,33	40,58	134,07	104,63	2,94	26,94	50,49	2,58	3,31	2,37	8,62	153,79	121,98
Cinzas Leves - Candiota																		
Amostras	As	B	Be	Cd	Co	Cr	Cu	Li	Mn	Mo	Ni	Pb	Sb	Se	Tl	U	V	Zn
08-200	11	86,1	4,99	0,4	13,2	40,53	24,2	40,15	200,8	3,1	15,6	26,5	1	0,2	1,7	4,12	85,91	51,5
08-241	17,1	63,63	4,55	0,4	13,6	43,15	25,2	33,63	165,7	4,6	21,6	29,8	1,1	1,2	2,1	1,96	91,51	133,4
09-110	41	109	5,49	0,6	13,4	48,91	27,3	41,59	190,8	6,1	19,5	52,8	2	1	3,5	3,61	95,9	104,7
09-212	12,5	69,97	5,3	0,3	12	40,69	23,1	39,13	215,8	3,1	15,4	26,4	1	0,3	1,7	3,47	85,27	42,65
Media	20,41	82,18	5,08	0,42	13,06	43,32	24,96	38,63	193,26	4,24	18,01	33,87	1,27	0,65	2,25	3,29	89,65	83,05
Cinzas Leves - Jorge Lacerda (Capivari de Baixo)																		
Amostras	As	B	Be	Cd	Co	Cr	Cu	Li	Mn	Mo	Ni	Pb	Sb	Se	Tl	U	V	Zn
08-171	50,8	79,83	10,3	1,8	16,4	126,7	44,2	90,85	223,6	9,4	41,3	80,9	2,9	1,2	5,4	10,6	265,3	289,8
08-231	27,8	44,51	7,55	1,4	14,2	115,3	39,4	69,99	163,5	5	32	51,1	1,6	0,8	4,7	7,33	217,7	203,5
09-118	16,1	32,89	7,2	0,8	15,8	95,88	38,7	74,33	210,1	3,8	31,6	42	1,2	0,4	2,6	7,27	193,5	138,7
09-270	27,8	54,39	8,76	1,1	14,8	102,8	41,6	82,27	190,3	5,3	30,1	58,3	1,8	1,3	3,7	8,13	200,7	214,2
Media	30,63	52,91	8,45	1,28	15,31	110,16	40,96	79,36	196,84	5,87	33,77	58,07	1,88	0,92	4,12	8,34	219,31	211,56

Cinzas Pesadas - São Jerônimo																		
Amostras	As	B	Be	Cd	Co	Cr	Cu	Li	Mn	Mo	Ni	Pb	Sb	Se	Tl	U	V	Zn
08-106	6,39	46,29	12,95	<LD	13,52	300,12	45,36	104,73	179,77	5,53	123,31	Cont	1,12	<LD	0,94	7,91	169,07	14,61
08-216	3,51	<LD	11,57	<LD	13,68	252,95	40,43	99,93	82,44	4,28	101,38	Cont	0,95	<LD	0,5	7,1	151,31	24,32
09-081	3,21	<LD	13,26	<LD	11,45	380,38	44,17	94,05	134,64	4,78	150,95	Cont	0,85	<LD	0,68	6,48	167,25	82,03
09-115	4,24	<LD	10,13	<LD	12,51	312,62	37,42	67,29	117,98	4,76	135,94	Cont	0,91	<LD	0,74	5,78	123,33	<LD
Média	4,34	46,29	11,98		12,79	311,52	41,85	91,50	128,71	4,84	127,90		0,96		0,72	6,82	152,74	40,32

Cinzas Pesadas - Charqueadas																		
Amostras	As	B	Be	Cd	Co	Cr	Cu	Li	Mn	Mo	Ni	Pb	Sb	Se	Tl	U	V	Zn
08-189	8,42	89,89	11,9	<LD	11,15	99,48	35,45	131,94	129,71	3,21	40,94	Cont	1,04	<LD	1,11	7,54	144,36	<LD
08-238	8,8	80,04	8,88	0,15	10,99	69,97	32,75	94,67	154,09	3,12	34,53	Cont	0,79	<LD	1,17	5,54	105,48	<LD
09-085	7,18	79,13	9,89	<LD	14,83	125,03	38,61	85,69	255,05	4,47	56,88	Cont	0,95	<LD	1,25	7,99	122,91	41,05
09-218	9,37	87,42	10,78	<LD	11,69	65,7	35,53	116,68	121,78	3,33	28,68	Cont	1,1	<LD	1,09	6,47	147,9	<LD
Média	8,44	84,12	10,36	0,15	12,17	90,05	35,59	107,25	165,16	3,53	40,26		0,97		1,16	6,89	130,16	41,05

Cinzas Pesadas - Candiota																		
Amostras	As	B	Be	Cd	Co	Cr	Cu	Li	Mn	Mo	Ni	Pb	Sb	Se	Tl	U	V	Zn
08-201	5,28	75	5,58	0,51	16,97	100,46	28,63	37,92	263,73	4,06	45,43	Cont	0,78	<LD	1,39	5,05	96,03	67,33
08-242	3,08	61,46	4,5	0,33	16,85	43,1	24,42	31,06	280,77	4,71	21,98	Cont	0,6	<LD	1,16	3,71	90,71	35,29
09-111	2,38	55,48	5,14	0,31	14,18	129,22	25,33	34,96	412,42	3,31	57,83	Cont	0,51	<LD	0,83	4,39	89,51	270,32
09-211	1,65	62,11	6,04	0,32	19,05	242,84	27,89	40,96	354,18	5,66	107,13	Cont	0,53	<LD	1,13	4,59	99,09	43,25
Média	3,10	63,51	5,32	0,37	16,76	128,91	26,57	36,23	327,78	4,44	58,09		0,61		1,13	4,44	93,84	104,05

Cinzas Pesadas - Capivari de Baixo (Jorge Lacerda)																		
Amostras	As	B	Be	Cd	Co	Cr	Cu	Li	Mn	Mo	Ni	Pb	Sb	Se	Tl	U	V	Zn
08-172	2,8	50,47	7,89	1,06	20,35	154,6	44,29	69,11	187,55	2,6	66,31	Cont	0,66	<LD	2	7,04	223,87	102,72
08-232	3,9	53,44	7,31	1,01	22,01	150,5	52,26	63,7	194,57	3,07	68,1	Cont	0,77	<LD	2,13	8,56	228,57	570,2
09-119	2,61	48,33	8,1	0,7	17,49	159,65	40,38	75,32	166,53	2,81	66,86	Cont	0,66	<LD	1,59	9,07	206,5	96,58
09-269	3,13	52,22	8,38	0,7	19,75	189,18	46,81	71,95	197,24	3,53	78,15	Cont	0,86	<LD	1,82	6,94	201,43	566,91
Média	3,11	51,12	7,92	0,87	19,90	163,48	45,94	70,02	186,47	3,00	69,86		0,74		1,89	7,90	215,09	334,10

5.4. Elementos traço nos Solos, Água e Plantas (Preliminares)

5.4.1. Solos

As médias para os elementos traço no solo demonstram que em cada região de estudo existe mudança de elementos com maior concentração e que nem todos coincidem com os elementos de maior concentração nas cinzas.

Em São Jerônimo os elementos que se destacam nos solos são Be, Cd, Ti e Zn, em Charqueadas o Cd, Mo, Pb, Sb e Zn apresentam os maiores valores médios (Tabela IV), para Presidente Médice os elementos com maior concentração são o Co, Cu, Ni, Pb e Sb, já no entorno da usina de Jorge Lacerda na cidade de Capivari de Baixo os elementos traço que se destacam são B, Mo, Sb, Ti e U (Tabela IV).

Tabela IV: Valores dos elementos traço na razão S1/S2 para as amostras de solo coletadas de acordo com o distanciamento da usina na direção preferencial dos ventos de cada região, sendo a amostra 07 o ponto branco usado para as usinas do Rio Grande do Sul e para Santa Catarina foi usado o ponto 26 como comparativo de solo sem interferência das cinzas.

São Jerônimo																	
Amostra	As	B	Be	Cd	Co	Cr	Cu	Li	Mn	Mo	Ni	Pb	Sb	Tl	U	V	Zn
01	0,71	1,24	0,95	0,87	0,83	1,07	1,15	0,94	1,58	0,79	0,76	0,85	0,99	0,64	0,99	1,01	0,87
02	1,24	0,77	1,81	1,14	2,05	1,09	1,59	1,69	0,47	0,77	2,18	1,50	1,62	3,54	1,51	1,29	1,65
03	0,57	0,95	0,88	0,81	0,57	1,04	0,92	0,81	0,39	0,59	0,62	0,69	0,84	0,64	0,80	0,98	0,67
04	0,93	0,72	1,11	0,85	1,05	1,06	0,90	0,99	0,98	0,93	1,18	0,85	0,94	0,97	0,90	1,08	0,78
05	0,82	2,34	1,35	3,38	1,30	1,05	1,11	1,06	1,18	0,85	0,70	1,01	1,00	1,30	0,88	0,94	2,90
06	0,84	0,81	1,34	1,13	1,18	0,77	1,27	0,70	1,12	0,89	1,28	1,69	0,88	1,22	1,10	0,96	1,06
07	1,21	0,87	1,08	0,26	0,90	0,93	0,92	0,86	1,15	1,04	0,89	1,16	0,93	0,86	0,82	0,99	1,59

Charqueadas

Amostra	As	B	Be	Cd	Co	Cr	Cu	Li	Mn	Mo	Ni	Pb	Sb	Tl	U	V	Zn
08	1,21	0,00	1,49	0,88	1,55	2,58	1,62	1,17	1,64	2,57	2,87	1,92	1,43	1,48	1,20	1,13	2,03
09	1,08	0,54	0,55	1,79	0,52	1,05	0,88	0,71	0,94	1,88	0,73	0,84	0,87	0,81	0,82	0,81	1,07
10	1,13	ND	1,09	2,52	1,09	0,77	0,86	1,08	1,08	1,09	0,90	1,25	0,48	1,22	1,05	1,11	1,64
11	1,10	1,02	1,07	10,50	1,21	0,98	0,96	0,84	1,47	1,05	0,86	1,77	4,46	0,92	1,01	1,02	1,05
07	1,21	0,87	1,08	0,26	0,90	0,93	0,92	0,86	1,15	1,04	0,89	1,16	0,93	0,86	0,82	0,99	1,59

Presidente Médice

Amostra	As	B	Be	Cd	Co	Cr	Cu	Li	Mn	Mo	Ni	Pb	Sb	Se	Tl	U	V	Zn
12	1,08	0,58	0,93		1,07	1,13	1,15	0,90	1,14	1,16	1,58	0,96	0,94		0,99	0,97	0,99	
13	0,97	1,46	1,08		1,04	0,86	1,00	1,01	1,01	1,05	0,96	0,89	1,26		0,86	1,03	0,94	0,83
14	1,17	1,33	0,96		1,17	0,96	1,03	0,93	1,00	1,02	1,03	1,03	1,09	1,31	1,06	0,98	1,03	1,10
15	0,92	1,11	1,00		0,92	0,96	1,00	0,96	0,67	0,68	0,95	0,91	0,99		1,09	0,91	1,04	
16	1,32	0,32	0,91		1,16	1,13	1,23	0,92	0,93	0,41	1,67	1,22	0,28	0,48	1,13	0,93	1,11	0,71
17	0,94	1,93	1,02		1,41	1,13	1,33	1,09	1,39	1,08	1,67	1,01	1,12	1,30	0,93	1,10	1,08	1,54
18	0,67	0,00	0,69		0,59	0,82	0,66	0,66	0,51	0,74	0,88	0,76	0,68	0,57	1,07	0,62	0,71	0,55
19	0,99	1,27	0,98		0,99	0,95	0,91	0,96	1,00	0,65	0,95	1,88	1,80		0,92	0,92	0,99	
07	1,21	0,87	1,08	0,26	0,90	0,93	0,92	0,86	1,15	1,04	0,89	1,16	0,93		0,86	0,82	0,99	1,59

Continuação Tabela IV

Capivari de Baixo

Amostra	As	B	Be	Cd	Co	Cr	Cu	Li	Mn	Mo	Ni	Pb	Sb	Tl	U	V	Zn
20	1,45	2,85	2,50		1,56	1,75	1,42	1,85	1,66	9,96	1,52	1,56	21,67	3,11	2,65	1,44	1,89
21	0,88	1,30	1,08	0,82	1,01	0,86	0,96	0,99	1,11	0,52	0,96	0,92	0,88	0,90	1,11	0,94	1,01
22	0,78	0,75	0,92	0,80	1,55	0,90	0,84	1,04	0,84	1,08	1,03	1,13	0,85	1,04	1,12	0,90	0,98
23	0,98	1,03	1,01	1,03	1,04	1,01	1,02	0,99	1,22	1,04	1,00	0,96	0,87	1,05	1,06	0,98	1,07
24	0,93	0,69	0,85	0,81	0,88	0,89	0,74	0,86	0,97	0,82	0,89	0,86	0,92	0,91	0,92	0,88	0,76
25	0,86	0,94	0,99	0,78	0,94	0,95	0,85	0,97	1,04	1,16	0,90	1,20	1,02	1,02	1,02	1,00	0,80
26	0,45		0,40		1,24	1,76	0,60	1,71	0,84	1,00	1,45	1,72	0,94	2,25	1,47	1,71	0,73

5.4.2. Água

Os elementos traço B, Mn e Zn (Tabela V), aparecem com maior concentração nas águas superficiais de todas as regiões estudadas, na região de São Jerônimo e Charqueadas ainda se destaca Cu e em Presidente Médice o Co também aparece com maior concentração (Tabela V).

Tabela V: Resultado dos elementos traço nas amostras de água superficiais (centrifugadas) em $\mu\text{g L}^{-1}$, sendo a amostra 07 o ponto branco usado para as usinas do Rio Grande do Sul e para Santa Catarina foi usado o ponto 26 como comparativo de água sem interferência das cinzas.

São Jerônimo																		
Amostra	As	B	Be	Cd	Co	Cr	Cu	Li	Mn	Mo	Ni	Pb	Sb	Tl	U	V	Zn	
02	0,46	12,80	0,18	2,93	0,55	0,90	3,42	1,62	38,10	0,02	2,53	2,32	7,31	0,02	0,15	2,43	364,00	
04	0,40	10,50	0,13	0,72	0,43	0,47	2,92	0,86	18,00	0,02	1,79	1,99	1,50	0,02	0,12	1,70	52,00	
05	0,74	20,90	0,12	0,44	0,45	0,46	5,99	0,84	20,00	0,02	1,90	2,48	0,60	0,02	0,11	2,85	33,50	
06	0,47	5,91	0,12	0,24	0,45	0,47	4,01	1,05	26,70	0,02	2,69	1,88	0,84	0,02	0,06	1,16	41,20	
07	0,73	9,82	0,12	0,26	0,39	0,35	2,41	0,73	19,80	0,03	1,91	2,40	0,26	0,03	0,12	1,33	26,90	
Charqueadas																		
Amostra	As	B	Be	Cd	Co	Cr	Cu	Li	Mn	Mo	Ni	Pb	Sb	Tl	U	V	Zn	
08	0,70	36,70	0,25	6,34	3,11	4,89	8,78	5,94	268,00	1,27	10,80	5,44	10,40	0,06	0,29	3,82	525,00	
09	0,50	10,80	0,11	2,69	0,63		4,43	1,39	44,20	0,07	1,23	1,94	3,04	0,02	0,11	2,13	234,00	
10	1,48	6,23	0,11	0,62	0,47	1,04	5,64	0,78	25,40	0,03	2,14	2,63	3,27	0,03	0,13	2,45	81,00	
11	0,55	7,08	0,09	3,71	0,62	0,80	5,71	0,65	21,10	0,04	2,22	6,35	5,45	0,01	0,07	1,83	376,00	
07	0,73	9,82	0,12	0,26	0,39	0,35	2,41	0,73	19,80	0,03	1,91	2,40	0,26	0,03	0,12	1,33	26,90	
Presidente Médice																		
Amostra	As	B	Be	Cd	Co	Cr	Cu	Li	Mn	Mo	Ni	Pb	Sb	Se	Tl	U	V	Zn
19	0,46	54,00	0,90	0,42	16,60		2,90	4,90	577,00	0,06	16,10	2,32	0,83		0,06	0,11	0,53	81,80
12	0,46	35,40	1,22	0,29	17,70		2,57	2,98	700,00	0,05	15,00	1,26	0,54		0,07	0,08	0,36	75,70
13	0,49	7,79	0,05	0,44	0,81	1,44	1,74	0,68	54,10	0,04	1,56	1,54	0,62		0,08	0,03	0,48	47,50
14	0,89	10,80	0,02	0,32	0,47		1,55	0,31	93,90	0,04	1,07	1,26	0,51		0,02	0,02	0,44	29,30
18	0,47	11,00	1,15	0,32	17,40		2,21	2,48	539,00	0,12	14,60	1,84	0,60		0,04	0,16	0,57	64,90
Continuação Tabela V																		
17	0,40	15,10	2,54	0,33	32,10		2,00	5,19	700,00	0,03	28,30	2,37	0,57		0,09	0,29	0,26	96,90
16	2,98	12,40	0,12	0,26	9,06		1,54	1,30	405,00	0,03	2,68	1,37	0,39	0,67	0,06	0,03	0,17	33,00
07	0,73	9,82	0,12	0,26	0,39	0,35	2,41	0,73	19,80	0,03	1,91	2,40	0,26		0,03	0,12	1,33	26,90
Capivari de Baixo																		
Amostra	As	B	Be	Cd	Co	Cr	Cu	Li	Mn	Mo	Ni	Pb	Sb	Se	Tl	U	V	Zn
20	2,80	143,00	0,08	1,67	1,30	3,66	1,86	7,16	133,00	0,80	1,59	1,44	1,92	5,09	0,02	0,25	4,39	94,60
21	1,41	23,90	0,06	0,34	1,77	0,30	3,87	3,10	131,00	0,35	2,24	1,27	1,07	1,32	0,03	0,12	2,08	55,90
23	2,38	127,00	0,18	0,43	3,21	4,95	5,88	7,10	198,00	0,29	3,84	2,55	0,98	4,48	0,03	0,32	4,68	65,30
24	1,94	64,80	0,04	0,30	1,01	1,87	2,47	3,68	341,00	0,34	2,41	0,85	0,70	1,25		0,13	1,45	49,00
25	0,91	50,80	0,02	0,31	1,98	0,82	1,54	3,57	680,00	0,47	3,36	1,06	0,95	1,00		0,13	0,90	31,70
26	0,70	10,50	0,32	1,91	0,25		2,01	2,65	32,10	0,05	0,86	1,79	3,08		0,08	0,18	0,34	126,00

5.4.3. Plantas

Nas plantas de todas as áreas de estudo os elementos traço apresentaram maior concentração foram B, Cu, Mn e Zn, outros elementos também se destacaram em diferentes regiões, em São Jerônimo o V e em Charqueadas o Cr (Tabela VI).

Tabela VI: Resultados da análise de ICP-MS para as amostras de plantas em $\mu\text{g g}^{-1}$.

São Jerônimo																		
Amostra	As	B	Be	Cd	Co	Cr	Cu	Li	Mn	Mo	Ni	Pb	Sb	Tl	U	V	Zn	
02	5,76	70,79	2,02	0,32	11,71	21,06	33,35	31,36	898,6	1,57	14,46	20,55	0,49	0,83	2,74	68,7	93,99	
03	1,05	43,07	0,18	0,05	0,01	0,66	17,54	4,03	112,96	5,78	3,94	1,69	0,06	0,22	0,14	2,9	64,33	
04	0,36	60,76	0,4	0,07	1,15	2,54	22,1	3,16	1903,81	0,25	7,37	2,25	0,09	0,09	0,18	4,87	56,17	
Charqueadas																		
Amostra	As	B	Be	Cd	Co	Cr	Cu	Li	Mn	Mo	Ni	Pb	Sb	Se	Tl	U	V	Zn
08	0,09	56,39		0,03	0,32	40,62	5,86	0,19	241,54	18,58	4,53	2,7	0,06			0,03	3,03	27,07
09	0,95	145,6	0,19	0,52	2,76	230,86	34,41	3,01	584,02	18,71	47,34	36,93	0,54	0,35	0,07	0,31	14,49	370,24
10	0,73	29,84	0,19	0,02	5,5	7,35	21,24	2,49	296,43	0,5	6,93	3,5	0,07		0,12	0,39	29,45	31,92
Presidente Médice																		
Amostra	As	B	Be	Cd	Co	Cr	Cu	Li	Mn	Mo	Ni	Pb	Sb	Tl	U	V	Zn	
13	0,36	71,22		0,09	0,71		12,46	0,69	97,6	0,86	1,61	0,99	0,03	0,04	0,11	1,48	23,5	
14	0,09	29,65	0,02		0,2	0	11,77	0,3	146,83	0,09	2,74		0,01		0,02	0,06	21,67	
15		70,66	0,04	0,03	0,55	0,16	13,27	0,59	62,07	0,72	1,33	0,17	0,02		0,1	1,03	14,16	
17		59,48			0,11	0	8,05	0,18	58,39	0,96	0,47		0,01		0,02	0,09	7,97	
18	0,03	52,15	0,1	0,03	1,14		6,82	0,43	174,14		7,49				0		14,94	
19		69,51			3,2		9,68	0,75	552,3	0,13	7,72				0,01		33,42	
Cativari de Baixo																		
Amostra	As	B	Be	Cd	Co	Cr	Cu	Li	Mn	Mo	Ni	Pb	Sb	Tl	U	V	Zn	
20	0,11	43,71	0,02		0,17	0,46	5,49	0,36	80,36	1,26		0,68	0,02		0,06	0,71	51,78	
21	0,18	56,04	0,05		0,34	0,77	11,65	0,64	356,02	0,29	2,52	0,56	0,03	0,05	0,1	1,19	43,18	
Continuação Tabela VI																		
23	0,16	50,03	0,04	0,06	0,61	0,79	12,62	0,41	387,51	0,28	3,34	0,24	0,02	0,22	0,1	1,98	40,98	
24	0,13	67,02	0,28		0,99	0,88	11,28	1,98	146,01	3,24	2,83	3,35	0,03	0,11	1,02	4,47	36,43	
26	0,11	39,74	0,05		0,3	0,38	4,75	0,53	362,71	0,15		1,23	0,01		0,18	1,29	22,29	

6. CONCLUSÕES

Em Presidente Médice a análise petrográfica revelou que o *rank* do carvão é subbetuminoso C, a maioria da matéria orgânica é composta de vitrinita, até 55,8% (vol%) (SMM), com quantidades elevadas de inertinita, até 29,7% (vol%) (SMM) e de liptinita 13,3% (vol%) (SMM). A média de COT é < 1% (peso) nas cinzas leves e pesadas, indicando uma combustão quase completa da matéria inorgânica. O teor de cinzas em base seca (51,7% (peso)) e de enxofre (1,4% (peso)) estavam de acordo com a classificação nacional de carvões energéticos.

Na usina de Charqueadas *rank* do carvão é subbetuminoso C – B, contendo como principal grupo maceral a vitrinita (média de 55,5% (vol%), SMM), mas também é rico em inertinita (média de 29,5%

(vol%) SMM) e liptinita (15,0% (vol%) SMM). O teor de cinzas em base seca (49,9% (peso)) e de enxofre (0,9% (peso)). O poder calorífico foi superior ao valor estabelecido, ultrapassando-o em 200 cal/g. O valor médio de CT nas cinzas leves foi de 1,17% (peso), enquanto nas cinzas pesadas foi de 10,1% (peso).

Em São Jerônimo o carvão tem um *rank* subbetuminoso C – A. A composição de macerais é variável com vitrinita (45,9% (vol%) SMM), inertinita (36,7% (vol%) SMM) e liptinita (17,3% (vol%) SMM). O teor de cinzas em base seca (41,0% (peso)) e de enxofre (0,7% (peso)) e o poder calorífico determinado é inferior ao estabelecido. As cinzas de São Jerônimo contêm altos teores de carvão não queimado, resultado do processo de combustão. Sendo assim, sua eficiência poderia ser melhorada por meio de uma modificação no processo de combustão. Os valores de CT foram elevadas para as cinzas leves e pesadas, com valores médios de 9,3% (peso) e 17% (peso) respectivamente.

No carvão utilizado na usina Jorge Lacerda foi constatada a presença de diferentes populações de vitrinita, uma com *rank* subbetuminoso e a outra com *rank* betuminoso alto – volátil, o teor de cinzas em base seca (41,2% (peso)) e o teor de enxofre (2,0% (peso)). Os principais minerais presentes no carvão foram quartzo, caulinita, ilita e pirita. Também foram observados gipsita, calcita e feldspato em algumas das amostras. A combustão na usina Jorge Lacerda é eficiente. Os valores de COT foram baixos tanto para as cinzas leves (0,99% peso) como para as pesadas (2,47% peso).

Os elementos traço com maior abundância nas cinzas leves e pesadas determinados pela Espectrometria de Massa com Plasma Indutivamente Acoplado (ICP-MS) são B, Cr, Mn, Li, V, Zn para as Usinas Termelétricas de São Jerônimo, Charqueadas, Presidente Médice (RS) e Jorge Lacerda (SC), nas cinzas pesadas também se destaca o Ni.

Traçando o comparativo preliminar para verificar se existe uma possível contribuição das usinas em estudo com um incremento dos elementos traço nos solos água e plantas é possível observar que nos solos não houve compatibilidade dos elementos encontrados nas cinzas, já no que diz respeito a água e plantas é possível observar que os elementos B, Mn e Zn se destacam coincidindo com os elementos mais abundantes nas cinzas leves e pesadas, porém os valores estão dentro dos indicados como adequados de acordo com CETESBE e CONAMA. O que classifica a área em estudo como limpa para os elementos em maior concentração nas cinzas leves e pesadas.

7. REFERÊNCIAS

ANEEL, 2009. Atlas de Energia Elétrica do Brasil. Agência Nacional de Energia Elétrica. Brasília. 236 p.

ASTM, 1991. Annual Book of ASTM Standards. Sec 05.05. Standard Test Methods for Moisture in the Analysis Sample of Coal and Coke. ASTM, D 3173-87, Philadelphia, PA, United States, p.324-325.

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

ASTM, 1991. Annual Book of ASTM Standards. Sec 05.05. Standard Test Method for Volatile Matter in the Analysis Sample of Coal and Coke. ASTM, D 3175-89a, Philadelphia, PA, United States, p.329-331.

CETESB - Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental; *Relatório de estabelecimento de valores orientadores para solos e águas subterrâneas no Estado de São Paulo. São Paulo: (R321)-CETESB, 2001.* Anexo único, artigo 1º da Decisão de Diretoria Nº 195-2005-E, de 23 de novembro de 2005.

CONAMA – Conselho Nacional do Meio Ambiente- Resolução 357, de 17 de março de 2005.

Depoi, F. S., Pozebon, D., Kalkreuth, W. D., 2008. Chemical characterization of feed coals and combustion-by-products from Brazilian power plants, *International Journal of Coal Geology* 76, 227–236.

ISO 7404/3. 1994. Methods for the petrographic analysis of bituminous coal and anthracite. Part 3. Methods of determining maceral group composition. International Organisation for Standardization, Geneva, Switzerland, 4p.

Kalkreuth, W., Levandowski, J., Delgado, T., Scheffer, R., Maia, S. M., Peralba, M.C. R., Barrionuevo, S. Evaluation of Environmental Impacts of the Figueira Coal-Fired Power Plant, Paraná, Brazil, *International Journal of Coal Geology* (em prelo).

Querol, X.; Juan, R.; Lopez-Soler, A.; Fernandez-Turiel, J.L.; Ruiz, C.R. Mobility of trace elements from coal and combustion wastes. *Fuel Processing Technology*, v. 75, p. 821-838, 1996. Vassilev, S.V., Kitano, K., Takeda, S., Tsurure, T., 1995. Influence of mineral and chemical composition of coal ashes on their fusibility, *Fuel Processing Technology* 45, 27–51.