

# Carvão e Meio Ambiente

Centro de Ecologia

da Universidade Federal  
do Rio Grande do Sul



Editora  
da Universidade

Universidade Federal do Rio Grande do Sul

*Carvão e meio ambiente* é fruto da colaboração de inúmeros grupos de trabalho da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, tendo contado com pesquisadores de outras instituições com o objetivo de estudar os efeitos da exploração e do uso do carvão sobre o meio ambiente, na Região Carbonífera do baixo Jacuí, no Rio Grande do Sul.

A Região, nos seus aspectos ambientais e sociais, é tratada de modo global na primeira parte do livro, que relata sobre a geologia, o clima, os solos, a vegetação e as características demográficas, econômicas e jurídico-políticas.

A partir da descrição geral busca-se uma síntese dos aspectos ambientais e socioeconômicos, visando analisar a sustentabilidade econômica e ambiental da exploração e do uso do carvão.

Estudos sobre as conseqüências da queima do carvão, na atmosfera local, no solo e na água, são abordados nos tópicos ligados ao meio físico. Especial atenção

está voltada para a recuperação de áreas mineradas e com sugestões para os tomadores de decisão quanto ao monitoramento e ao gerenciamento ambiental.

Animais e plantas foram alvo de estudos específicos com objetivo de identificar indicadores dos impactos de atividades carboníferas sobre os organismos vivos, bem como os aspectos relacionados à saúde pública.

A organização social da região e seu engajamento na melhoria do ambiente ocorreram através de estudos sobre as ações de educação ambiental promovidas por escolas e associações comunitárias.

Quer pela caracterização geral da região, quer pelos estudos específicos, *Carvão e meio ambiente* trata de forma aprofundada e original os mais diversos tópicos associados à problemática da exploração e do uso do carvão e suas conseqüências sobre o meio físico, os organismos vivos e a sociedade.

# Carvão e Meio Ambiente

---

Centro de Ecologia

---

da Universidade Federal  
do Rio Grande do Sul



Editora  
da Universidade

Universidade Federal do Rio Grande do Sul

RESERVA TÉCNICA  
Editora da UFRGS

© dos autores  
1ª edição: 2000

Direitos reservados desta edição  
Universidade Federal do Rio Grande do Sul

Capa: Paulo Antonio da Silveira  
Foto da capa: Geraldo Mario Rohde  
Editoração eletrônica: William Wazlawik  
Toni Peterson Lazaro  
Fernando Piccinini Schmitt

---

C397c Centro de Ecologia/UFRGS  
Carvão e meio ambiente/ Centro de Ecologia/UFRGS. – Porto Alegre : Ed. Universidade/UFRGS, 2000.

1. Carvão – Meio ambiente. I. Título.

CDU 622.33:634.0.11

---

Catálogo na publicação: Mônica Ballejo Canto – CRB 10/1023

ISBN 85-7025-563-2

CARV  
C 332

# Carvão

e Meio Ambiente

RESERVA TÉCNICA  
Editora da UFRGS



**UNIVERSIDADE  
FEDERAL DO RIO  
GRANDE DO SUL**

Reitora

**Wrana Maria Panizzi**

Vice-Reitor

**Nilton Rodrigues Paim**

Pró-Reitor de Extensão

**Luiz Fernando Coelho de Souza**

---

**EDITORA DA UNIVERSIDADE**

Diretor

**Geraldo F. Huff**

**CONSELHO EDITORIAL**

**Anna Carolina K. P. Regner**

**Christa Berger**

**Eloir Paulo Schenkel**

**Georgina Bond-Buckup**

**José Antonio Costa**

**Livio Amaral**

**Luiza Helena Malta Moll**

**Maria da Graça Krieger**

**Maria Heloisa Lenz**

**Paulo G. Fagundes Vizontini**

**Geraldo F. Huff, presidente**



---

**Editora da Universidade/UFRGS** • Av. João Pessoa, 415 - 90040-000 - Porto Alegre, RS - Fone/fax (51) 224-8821, 316-4082 e 316-4090 - E-mail: [editora@orion.ufrgs.br](mailto:editora@orion.ufrgs.br) - <http://www.ufrgs.br/editora> • **Direção:** Geraldo Francisco Huff • **Editoração:** Paulo Antonio da Silveira (coordenador), Carla M. Luzzatto, Cláudia Bittencourt, Maria da Glória Almeida dos Santos, Najára Machado • **Administração:** Julio Cesar de Souza Dias (coordenador), José Pereira Brito Filho, Laerte Balbinot Dias, Norival Hermeto Nunes Saucedo • **Apoio:** Idalina Louzada, Laércio Fontoura.

# METAIS TÓXICOS ASSOCIADOS AO PARTICULADO ATMOSFÉRICO DA REGIÃO CARBONÍFERA DO BAIXO JACUÍ, RS – BRASIL

Miguel Vassiliou  
Tuiskon Dick

## INTRODUÇÃO

No Brasil, especialmente no Rio Grande do Sul e Santa Catarina, a combustão do carvão é uma importante fonte emissora de material particulado, e a concentração dos elementos gerados durante a queima depende da composição química do carvão original (SÁNCHEZ e outros, 1982). Porém, não deve ser desprezada a decisiva participação dos veículos que utilizam combustível derivado do petróleo nos grandes centros urbanos.

A emissão de metais-traço no meio ambiente por termoelétricas está relacionada a diferentes fatores: 1. Características químicas dos elementos, 2. Eficiência de combustão do gerador e, 3. Temperatura do efluente gasoso (SÁNCHEZ e outros, 1982). Além disso, a emissão de poluentes primários pode dar origem a poluentes secundários, através de interações químicas e fotoquímicas com o meio ambiente, tais como a formação de nevoeiros ou o smog (combinação de névoa e partículas em suspensão).

Segundo SÁNCHEZ (1987) na queima de 1.940.000 toneladas de carvão no Rio Grande do Sul são gerados, anualmente, 48,5 kg de Cd, 65,9 t de Pb, 4 t de Zn, 38,8 t de Cu, além de Be e Hg, respectivamente com 1.396,8 t e 349,2 kg.

Outro fator de importância está relacionado à absorção e acumulação dessas partículas através das vias respiratórias. Há uma seletividade para os locais de deposição, conforme o tamanho da partícula. Assim, partículas > 10µm restringem-se à faringe e a laringe, enquanto que partículas < 1µm atingem facilmente os bronquíolos (MASTERS, 1971). Em geral, possuem elevado grau de toxidez, uma vez que as mesmas podem passar por processos de enriquecimento, concentrando elementos metálicos tóxicos (SÁNCHEZ e outros, 1982; NRIAGU, 1990; LACERDA e outros, 1995).

No que refere-se às “partículas em suspensão”, o termo abrange uma enorme gama de tamanhos, formas e densidades, apresentando também, composição química distinta (LYNN, 1976; MANAHAN, 1984). Podem apresentar-se finamente divididos, sendo provenientes de processos de combustão, atividades industriais ou oriundas de fontes naturais, tais como: atividade vulcânica, pela ação de ventos sobre a superfície terrestre, por incêndios florestais, etc. (ELSOM, 1987)

A composição do material particulado em suspensão depende dos tipos de fontes que contribuem para a sua formação, e a definição geral estabelece-se em termos da velocidade de deposição das partículas. Tal velocidade de sedimentação está diretamente relacionada ao diâmetro da partícula e sua densidade, importante na determinação do comportamento da partícula na atmosfera. (MANAHAN, 1984)

Em partículas com tamanhos inferiores a 10  $\mu\text{m}$ , a velocidade de sedimentação é insignificante se comparada ao movimento produzido pelo vento e a turbulência do ar. Essas partículas tendem a permanecer em suspensão por longos períodos (horas ou dias), até que sejam eliminadas por impacto, quando atingem superfícies, por deposição seca, ou úmida quando arrastadas pelas precipitações chuvosas. Altas concentrações de material particulado na atmosfera podem ocasionar redução da visibilidade, além de participar de reações com outros contaminantes atmosféricos. (TORREIRA, 1992)

A presença de material particulado num centro urbano caracteriza a mais visível e evidente forma de poluição do ar, estando intrinsecamente relacionada a uma fonte emissora (REIS, 1993). Quanto à origem das fontes emissoras, estas podem ser fixas, pontuais (chaminés) ou móveis (produzidas por veículos a combustão).

Segundo GIORGIO (1977) a existência de contaminação atmosférica numa determinada área ou região está condicionada à presença de três elementos básicos: 1. Fontes de emissão de contaminantes: indústrias, metalúrgicas, termoelétricas, etc; 2. Condições meteorológicas que determinem a dispersão de contaminantes na baixa atmosfera (troposfera); 3. Receptores bióticos e abióticos sobre os quais incidem os contaminantes atmosféricos dispersados, além da ação destes sobre edificações, monumentos e demais estruturas, bem como interferência estética na paisagem.

A presença de complexos carbo-elétricos (Termochar e Usina Termoelétrica de São Jerônimo) e de uma Usina Siderúrgica de porte médio provocou, ao longo dos anos, profundas alterações ambientais, notadamente, no que concerne a qualidade do ar, na região do Baixo Jacuí. Este trabalho visa contribuir com informações sobre a presença de partículas totais em suspensão (PTS) e metais tóxicos associados ao PTS em Charqueadas e São Jerônimo, pertencentes à região carbonífera do baixo Jacuí no Rio Grande do Sul.

## **MATERIAL E MÉTODOS**

Este estudo foi realizado de forma conjunta com a rede de monitoramento da qualidade do ar da Fundação Estadual de Proteção Ambiental (FEPAM). Foram utilizados três amostradores de ar instalados na zona urbana de Charqueadas e São Jerônimo, ambas situando-se na parte centro-leste do Estado, respectivamente a 60 e 68 km de Porto Alegre.

Na Figura 1 encontram-se dispostas as coordenadas geográficas de ambos os municípios avaliados, bem como, a localização das estações de amostragem e das fontes geradoras de poluentes.

Foram realizadas filtragens do ar atmosférico nas três estações avaliadas, em 56 dias, num período compreendido entre julho/1994 a maio/1995, numa frequência semanal e no decorrer de 24 horas. Posteriormente foram determinados os teores de Partículas Totais em Suspensão (PTS) retidos nos filtros, bem como a concentração de metais tóxicos (Cu, Ni, Mn, Zn, Pb e Cd) associados ao material particulado, efetuando-se 2.016 análises dos elementos metálicos.

Para a coleta das partículas totais em suspensão foram empregados equipamentos do tipo Hi-vol (high-volume) ou amostradores de grandes volumes, da marca Energética.

Os métodos de amostragem basearam-se em EPA (1979, 1981 e 1987). Para a determinação da concentração de PTS na atmosfera foram empregados os critérios estabelecidos pela ABNT-NBR N° 9547/1998.

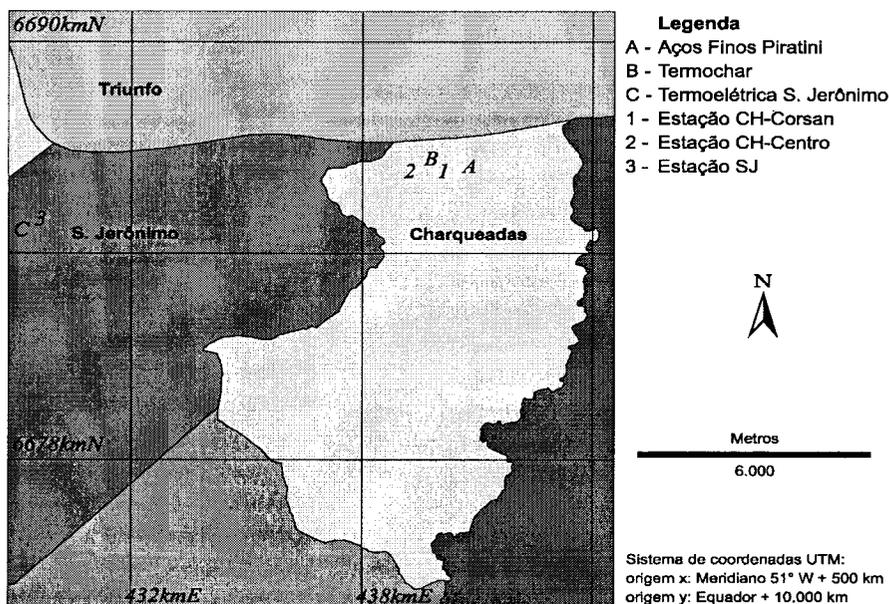


Figura 1 - Localização dos pontos de amostragem e das principais fontes poluidoras

Uma vez instalado num local de medição adequado, o aparelho aspira um certo volume de partículas totais em suspensão do ar ambiente, através de um filtro posicionado sob um suporte no interior de uma casinhola de abrigo. O Hi-Vol opera por um período de 24 horas ininterruptas, sendo que o volume de ar amostrado é determinado a partir da vazão medida e do tempo de amostragem. A concentração de partículas totais em suspensão (PTS) na atmosfera é obtida dividindo-se o peso de partículas amostradas pelo volume de ar filtrado, o resultado é expresso em microgramas por metro cúbico.

$$PTS = \frac{\text{peso de partículas } (\mu\text{g})}{\text{volume de ar filtrado } (\text{m}^3)} = \mu\text{g} / \text{m}^3$$

Os filtros utilizados eram pesados antes e após a amostragem, sendo que os mesmos permaneciam por 24 horas no interior de uma câmara acrílica hermeticamente selada, com umidade relativa a  $\cong 33\%$  e temperatura ambiente oscilando entre  $20 \pm 2^\circ\text{C}$ . A câmara continha uma balança analítica, sendo que ao final da operação registrava-se o peso do filtro.

A faixa de captação do método, está compreendida entre aproximadamente 2 a  $750 \mu\text{g}/\text{m}^3$  (ENERGÉTICA, 1994). Após um determinado período de funcionamento do amostrador verifica-se uma perda de carga ocasionada pela colmatação gradual do filtro, ou seja, a vazão especificada não é mantida pelo aparelho, sendo este considerado o limite superior. Por sua vez, o limite inferior é determinado pela sensibilidade da balança analítica, quando efetua-se a pesagem do filtro contendo o material particulado. Para a extração dos elementos metálicos (Cu, Ni, Mn, Zn, Pb e Cd) retidos no filtro, após exposição, empregou-se o método da digestão ácida de Tölg. Posteriormente, efetuava-se a análise da amostra solubilizada com o emprego de um Espectrofotômetro de Absorção Atômica PERKIN ELMER, modelo 2380 com forno de grafite HGA 400, com plataforma, e lâmpada de deutério como corretor de interferências. Para as análises dos elementos Cu, Ni, Pb e Cd utilizou-se o forno de grafite; os metais Mn, Zn foram analisados em chama ar-acetileno no Laboratório de Absorção Atômica do Centro de Ecologia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, com o objetivo de verificar-se os níveis de metais presentes na sua constituição.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

### Material Particulado Total

O Particulado Total em Suspensão (PTS) na área de estudo foi variável ao longo do tempo de amostragem (Figura 2). Na estação CHCS, no período de julho a dezembro de 1994, apenas dois dias (20.07.94) e (24.09.94) ultrapassaram, respectivamente, os padrões primário e secundário. Entretanto, no período compreendido entre 04.01.95 a 08.06.95, foram registradas seis ocorrências (dias) onde as concentrações de PTS excederam os valores referentes à legislação.

Na estação CHCT, apenas dois dias (24.09.94) e (06.10.94), foram responsáveis pelas concentrações de PTS acima do padrão primário, enquanto que em 1995 as concentrações permaneceram abaixo dos padrões primário e secundário.

Na estação SJ, em ambos os períodos, 1994 e 1995, a concentração de PTS atmosférico apresentou-se abaixo dos limites estabelecidos pela legislação. Os valores (média geométrica) de concentração de PTS na estação CHCS ( $140 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) superou o padrão primário em 75%, enquanto que o padrão secundário foi excedido em 133%. No entanto, a estação CHCT, com concentração de  $79 \mu\text{g}/\text{m}^3$  de PTS, ultrapassou apenas o padrão secundário ( $60 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ). A concentração de partículas registradas na estação SJ ( $54 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) em São Jerônimo, permaneceu abaixo do que é estabelecido pela legislação federal (Figura 3).

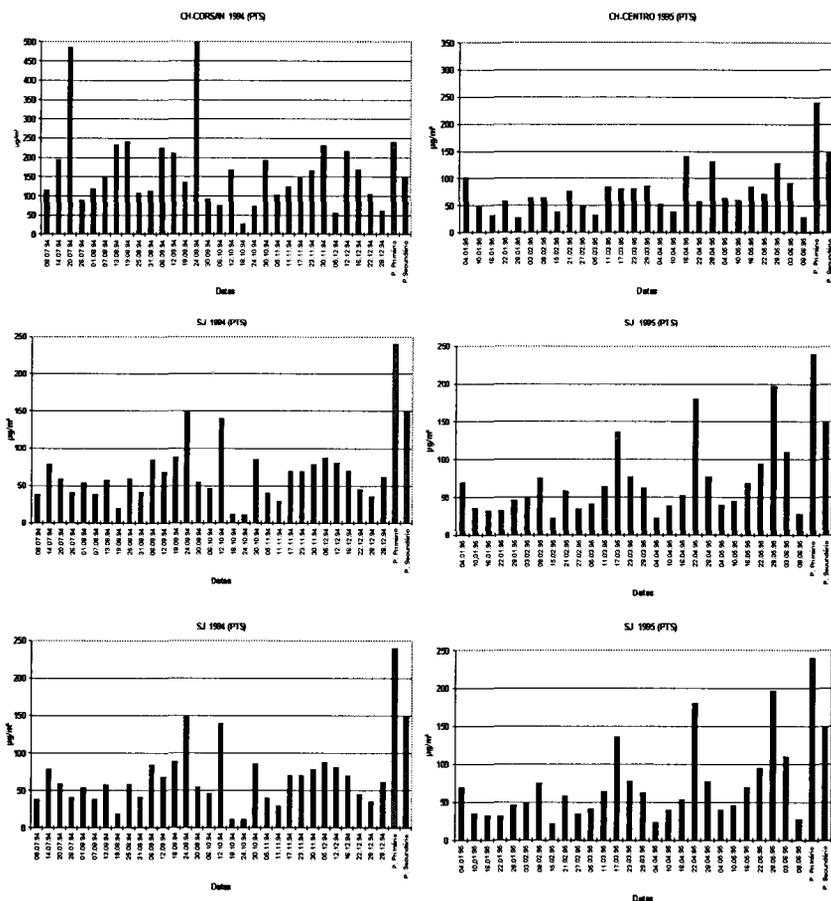


Figura 2 - Distribuição temporal das Partículas Totais em Suspensão (PTS) no Baixo Jacuí, RS.

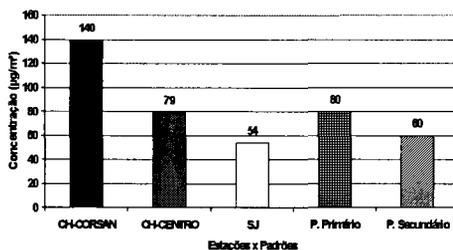


Figura 3 - Partículas Totais amostradas nas estações de Charqueadas (CHCS, CHCT) e São Jerônimo (SJ) e Padrões Primário e Secundário de Emissão segundo Resolução CONAMA 003/90.

Ressalta-se aqui, a posição mais amena da estação SJ. Entretanto, a concentração mais elevada registrada para a estação CHCS, deve-se principalmente, a proximidade do Hi-vol junto às fontes emissoras locais: Usina Siderúrgica e Termochar, no município de Charqueadas. Pode-se inferir com relativa segurança, que as partículas de reduzido tamanho são transportadas para locais distantes, em função da direção e da velocidade dos ventos predominantes, Sudeste (direção preferencial), precedido por ventos oriundos do quadrante Leste; este último foi tomado como referencial, em função do posicionamento das estações de amostragem. A ação sinérgica dos fenômenos atmosféricos citados, propiciam a acumulação ambiental dos elementos metálicos no município de São Jerônimo.

Os reflexos mais imediatos, provavelmente, incidem sobre a saúde dos habitantes locais. ANDRADE (1989), em estudo epidemiológico realizado naquela cidade, constatou os efeitos negativos da poluição atmosférica sobre a saúde da população. Estudos realizados por ELETROSUL (1987) e (JABLONSKI, 1992 *apud* FEPAM, 1996) também confirmam o comprometimento da qualidade do ar na área de estudo.

A proximidade do Hi-vol junto às fontes emissoras, Termochar (Termoelétrica) e Aços Finos Piratini (Siderúrgica), explica mais realisticamente a interferência local, ocasionando as altas concentrações de PTS.

Percebe-se que a concentração de partículas totais em suspensão sofre sensível redução a partir do local de maior concentração ambiental (estação CHCS) no município de Charqueadas, para o local de menor concentração ambiental (estação SJ), no município de São Jerônimo. Destaca-se aqui, o efeito diluidor ou dispersivo promovido pela ação dos ventos na região.

SÁNCHEZ (1987) relata que partículas de reduzido tamanho ( $\leq 5 \mu\text{m}$ ) não são retidas pelos precipitadores eletrostáticos, sendo que a sua eficiência abrange partículas com diâmetro  $> 5 \mu\text{m}$ . Constata-se desta forma, que apesar da alta eficiência daqueles equipamentos, os valores relativos aos particulados finos lançados à atmosfera são ainda expressivos. Outrossim, cabe aqui ressaltar, que a Usina Siderúrgica, não dispõe, de nenhum sistema de abatimento de partículas lançadas à atmosfera. Este sistema está em fase final de instalação com início do funcionamento previsto para março de 2000.

## **Metais Associados às Partículas Totais em Suspensão (PTS)**

DAVISON (1974) comenta sobre a existência de uma seletividade por determinados metais, que se concentram sobre a superfície das partículas de diâmetro reduzido, sendo que estas possuem elevada energia superficial. O enriquecimento das partículas por elementos-traços dá-se através de processos de volatilização-condensação.

SMITH e outros (1979) evidenciam a partir da aplicação de fórmula matemática, a existência de correlação entre a concentração de elementos-traços e o diâmetro da partícula, ou seja, a concentração daqueles elementos aumenta com a redução do tamanho da partícula no intervalo compreendido entre 1 a  $10 \mu\text{m}$ .

LACERDA e outros (1995) relatam que os metais pesados são naturalmente enriquecidos durante a queima de combustíveis fósseis. Eles são capturados e concentrados, em particular, por porfirinas, durante a sedimentação e a diagênese da matéria orgânica,

sendo posteriormente volatilizados quando altas temperaturas são atingidas durante a queima em termoelétricas.

O comportamento descrito pode ser explicado pela existência de partículas muito finas, que possuem a particularidade de concentrar os metais sob a sua superfície (NRIAGU, 1990; TAVARES, 1990; FIEDLER, 1993; FEPAM, 1996 e FEPAM, 1998).

O consumo máximo de carvão da Usina Termoelétrica de Charqueadas é de 75 toneladas por hora (t/h), o que possibilita a geração de 38,72 t de cinzas, das quais 30% (11,4 t/h) ficam no fundo da caldeira, constituindo o chamado, “bottom ash”. Das 26,8 t/h que vão para a chaminé, 99,6% são retidos pelos precipitadores eletrostáticos. Assim, pode-se estimar que o percentual restante (0,4%) que escapa aos sistemas de abatimento de partículas, contribui, com 107 kg/h, ou 2.568 t/dia, ou com 93.732 t/ano.

Baseados nas características descritas e daquelas pertinentes às fontes geradoras, pode-se tecer algumas considerações sobre os metais associados ao PTS. Assim, a estação SJ destaca-se pelos elevados valores de metais (Cu, Ni, Mn, Zn, Pb e Cd) analisados (Tabela 1 e Figura 4).

A concentração média de Cu no PTS na estação CHCS foi 277 ng/m<sup>3</sup>, na estação CHCT 639 ng/m<sup>3</sup> e na estação SJ 1.709 ng/m<sup>3</sup>. É importante destacar que o valor mínimo em SJ corresponde a 29 ng/m<sup>3</sup>, atingindo um valor máximo de 23.287 ng/m<sup>3</sup>.

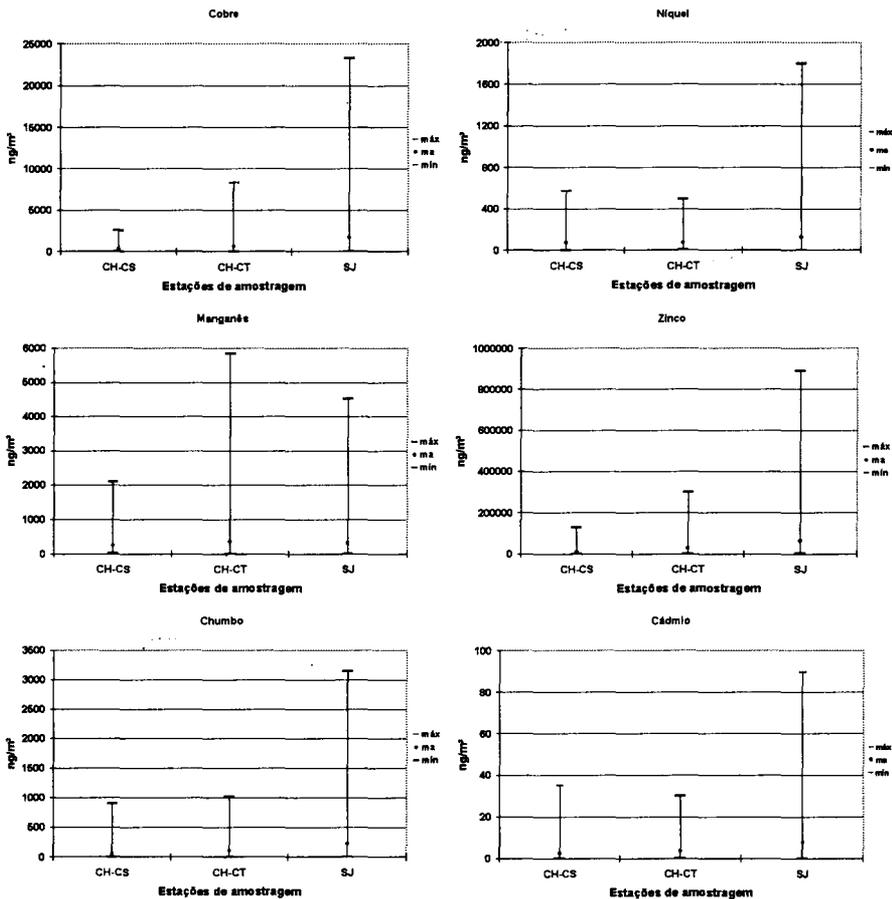
O valor médio de Ni correspondendo a 72 ng/m<sup>3</sup> na estação CHCS, 74 ng/m<sup>3</sup> e na estação SJ 126 ng/m<sup>3</sup>. A concentração de Mn na estação CHCS foi 252 ng/m<sup>3</sup>, na estação CHCT a concentração corresponde aos valores mais elevados 354 ng/m<sup>3</sup>, sendo que na estação SJ os teores de Mn são 322 ng/m<sup>3</sup>.

Neste estudo, destaca-se o Zn pelas elevadas concentrações, quando comparados com os demais metais. Na estação CHCS, as concentrações médias correspondem a 11.324 ng/m<sup>3</sup>, enquanto que a estação CHCT alcança 28.770 ng/m<sup>3</sup>, entretanto, na estação SJ, a concentração de Zn corresponde a 64.448 ng/m<sup>3</sup>. Nesta mesma estação (SJ), as concentrações máximas e mínimas daquele elemento atingem respectivamente, 888.722 ng/m<sup>3</sup> e 1.903 ng/m<sup>3</sup>. O desvio padrão é elevado, confirmando a grande variação na concentração de Zn.

**Tabela 1**

Resumo estatístico dos metais analisados no PTS, em (ng/m<sup>3</sup>), nas estações Charqueadas-Corsan (CHCS), Charqueadas-Centro (CHCT) e São Jerônimo (SJ) no período 1994-1995. Média aritmética (ma), desvio padrão (dp), valores mínimos (mín.) e valores máximos (máx)

Metais	Estatística	Estações		
		CHCS	CHCT	SJ
Cobre	ma	277	639	1.709
	dp	433	1.300	3.849
	mín	13	13	29
	máx	2.577	8.331	23.287
Níquel	ma	72	74	126
	dp	97	106	279
	mín	0,4	2,62	2,0
	máx	573	496	1.798
Manganês	ma	252	354	322
	dp	360	790	714
	mín	19	5,0	5,0
	máx	2.092	5.841	4.517
Zinco	ma	11.324	28.770	64.448
	dp	21.528	51.393	132.826
	mín	331	447	1.903
	máx	127.755	298.021	888.722
Chumbo	ma	53	110	228
	dp	129	168	503
	mín	0,25	2,25	3,0
	máx	903	1.023	3.151
Cádmio	ma	2,0	4,0	8,0
	dp	5,0	6,0	16
	mín	0,02	0,08	0,08
	máx	35	30	90



**Figura 4** - Concentrações média, máxima e mínima de metais pesados (Cu, Ni, Mn, Zn, Pb e Cd) no particulado atmosférico nas estações de amostragem em Charqueadas (CHCS e CHCT) e São Jerônimo (SJ) no baixo Jacuí, RS.

## CONCLUSÕES

A partir das informações obtidas pode-se concluir que:

O município de Charqueadas apresenta concentrações elevadas no que refere-se ao Particulado Total em Suspensão (PTS), enquanto que no município de São Jerônimo estas concentrações são bastante reduzidas;

O município de Charqueadas caracteriza-se por apresentar a menor concentração ambiental no que refere-se aos elementos metálicos avaliados, enquanto que o município de São Jerônimo caracterizou-se por apresentar concentrações mais elevadas destes elementos;

A presença de partículas de reduzidas dimensões, enriquecidas de elementos

metálicos originados pelas fontes poluidoras localizadas em Charqueadas, permitiu que as mesmas fossem facilmente transportadas pelos ventos predominantes, provavelmente ocasionando a sua acumulação ambiental no município de São Jerônimo.

As emissões aéreas provenientes da Usina Siderúrgica e das Termoelétricas, afetam distintamente a qualidade do ar nos municípios de Charqueadas e São Jerônimo.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABNT. *Material particulado em suspensão no ar ambiente - Determinação da concentração total pelo método do amostrador de grande volume*. NBR 9547. Rio de Janeiro: ABNT, 1988. 15p.
- ANDRADE, P. P. *Estudos dos efeitos da poluição ambiental aérea sobre a saúde da população entre duas cidades da região carbonífera do Rio Grande do Sul*. Porto Alegre, 1989. Dissertação de Mestrado - UFRGS/CPGP, 104p.
- CONAMA. *Resoluções Conama*: 1984 a 1991. 4.ed. Brasília: CONAMA, 1992. 245p.
- DAVISON, R. S. et al. Trace element in fly ash: dependence of concentration on particle size. *Environ Sci. Technol.*, [S.l.], n.8, p.1107, 1974.
- ELETROSUL. *Relatório de impacto ambiental: aspectos físicos-químicos*: Versão 2. Porto Alegre: ELETROSUL, 1987. v.3.
- ELSON, D. M. *Atmospheric pollution: causes, effects and control policies*. Oxford: Basil Blackwell, 1987. 312p.
- ENERGÉTICA. *Hi-Vol*: manual de operação. Rio de Janeiro: Energética, 1994. 51p.
- EPA. *Environmental protection agency for ambient air monitoring network interagency*. Washington: EPA, 1979. Environmental research and development program report.
- EPA. *Air quality criteria for particulate matter and sulphur oxides*. Washington: EPA, 1981.v.2.
- EPA. *Quality assurance handbook for air pollution measurements systems, ambient air specific methods*. Washington: EPA, 1987. 2v.
- FEPAM. *Avaliação da poluição hídrica e atmosférica em áreas de mineração e processamento de carvão do baixo Jacuí*, RJ. Porto Alegre: FEPAM, 1996. 505p. Relatório técnico.
- FEPAM. *Avaliação da poluição hídrica e atmosférica em áreas de mineração e utilização de carvão do baixo Jacuí*, RJ. Porto Alegre: FEPAM, 1998. Parte 4. Relatório técnico.
- FIEDLER, H. J. ; RÖSLER, H. J. *Spurenelemente in der Umwelt*. 2.ed. Stuttgart: Gustav Fischer Verlag Jena, 1993. 385p.
- GIORGIO, J. A. del. *Contaminación atmosférica: Métodos de medida y redes de vigilancia*. Madrid: Editorial Alhambra, 1977. 176p.
- LACERDA, L. D. et al. Heavy metals atmospheric inputs from energy generation in Brazil. In: INTERN. CONF. HEAVY METALS IN ENVIRONMENT, 1995, Hamburg. *Proceedings...* [S.l. : s.n], 1995. v.1, p.81-83.
- LYNN, D. A. *Air pollution. threat and response*. Reading: Addison-Wesley, 1976. 388p.
- MANAHAN, S. E. *Environmental chemistry*. 4.ed. London: Brooks/SolePublishing Company, 1984. 612p.
- MASTERS, R. L. Air pollution - human health effects. In: McCORMAC, B. M. (Ed.). *Introductions to the scientific study of atmospheric pollution*. Holland: D.Reidel Publishing Company. 1971, p.96-129.
- NRLAGU, J. O. A global assessment of natural sources of atmospheric trace metals. *Nature*, [S.l.], v.328, p.47-49, 1989.

- NRIAGU, J. O. Global metal pollution. *Environment*, [S.1], v.32, n7, p.7-11; 28-33, 1990.
- PAGE, A. L.; BINGHAM, F. T. Cadmium residues in the environment. In: GUNTHER, A. F. (Ed.). *Residue Reviews*. New York:Springer-Verlag, 1973. v.48, p.1-45.
- REIS, D. D.; SARTORI, H. J. F. Evolução tecnológica no monitoramento da qualidade do ar em coletores de material particulado. *Cad.Eng.*, Belo Horizonte, v.3, p.27-46, 1993.
- SÁNCHEZ, J.C. D.; GOMES, A. J. P. ; PINTAÚDE, D. A. Alguns elementos-traço nos carvões de Candiota de Hulha e Seival. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 32, 1982, Salvador. *Anais...* Salvador: SBG, 1982. v.3. p.1170-1182.
- SÁNCHEZ, J. C. D. *Emissão de elementos-traços provenientes da combustão de carvão em caldeira de grande porte*. Porto Alegre, 1987. Dissertação de Mestrado - UFRGS, PPGEMM, 1987. 147p.
- SMITH, R. D.; CAMPBELL, J. A.; NIELSON, K. K. Concentration dependence upon particle size of volatilized elements in fly ash. *Environ Sci. Technol.*, [S.1], v.13, n.5, p.553-558, 1979.
- STERN, A. C. *Air pollution: the effects of air pollution*. 3.ed. New York: Academic Press, 1977. v.2, 683p.
- TAVARES, T. M. *Avaliação de efeitos das emissões de cádmio e chumbo em Santo Amaro, Bahia*. São Paulo, 1990. Tese de doutorado - USP, Instituto de Química 1990. 273p.
- TORREIRA, R. P. *Salas limpas: projeto, instalação, manutenção*. São Paulo: Hemus, 1992. 318p.
- WELLBURN, A. *Air pollution and acid rain: the biological impact*. Essex: Longman Scientific & Technical, 1988. 274p.
- WALDRON, H. A. *Metals in environment*. London: Academic Press, 1980. 333p.
- VARNEY, R.; McCORMAC, B. M. Atmospheric Pollutants. In: McCORMAC, B. M. (Ed.). *Introductions to the scientific study of atmospheric pollution*. Dordrecht-Holland: D. Reidel, 1971. p.5-51.
- VOLAND, B.; GÖTZE, J. Phasenzusammensetzung von Aerosolen der Industrielandschaft. *Z. Angew. Geol.*, Berlin, v.34, n.9, p.278-281, 1988.