

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL

CENTRO ESTADUAL DE PESQUISA EM SENSORIAMENTO REMOTO E  
METEOROLOGIA

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM SENSORIAMENTO REMOTO

RITA CLARICE MACHADO TISSOT

ANÁLISE E DISPERSÃO (CAL PUFF) DE ELEMENTOS TRAÇO EM  
USINA A CARVÃO

PORTO ALEGRE, RS 2019



ANÁLISE E DISPERSÃO (CAL PUFF) DE ELEMENTOS TRAÇO EM  
USINA A CARVÃO

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Sensoriamento Remoto, Área de Concentração Sensoriamento Remoto Aplicado a Recursos Naturais e do Meio Ambiente, da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), como requisito parcial para obtenção do título de Doutora em Sensoriamento Remoto.

Prof. Dra. Rita de Cássia Marques Alves  
(orientadora)

PORTO ALEGRE, RS 2019



ANÁLISE E DISPERSÃO (CAL PUFF) DE ELEMENTOS TRAÇO EM  
USINA A CARVÃO

Tese apresentada ao Curso de Pós-Graduação em Sensoriamento Remoto, Área de Concentração Sensoriamento Remoto Aplicado a Recursos Naturais e do Meio Ambiente, da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), como requisito parcial para obtenção do título de Doutora em Sensoriamento Remoto.

Aprovado em 30 de Janeiro de 2019

---

Rita de Cássia Marques Alves, Dr<sup>a</sup>. (UFRGS)

(Presidente/Orientadora)

---

Marçal Pires, Dr. (PUCRS)

---

Daniela Montanari Migliavacca Osorio , Dra. (FEVALE)

---

Victor Fernandez Nascimento, Dr. (UFRGS)

Porto Alegre, RS 2019

## AGRADECIMENTOS

Agradeço à Professora Orientadora Rita de Cássia Marques Alves pela orientação, dedicação, amizade e palavras de incentivo. Muito obrigada!

Ao Dr. Marçal Pires pelas contribuições ao trabalho, pela disponibilidade de tempo, mas principalmente pelo incentivo, conselhos, amizade e exemplos.

Aos professores e funcionários do PPGSR.

Aos membros da banca de qualificação Dra. Daniela Montanari Migliavacca Osorio , Dr. Marçal Pires e Dra. Eliane Klering.

Aos colegas de trabalho por todo auxílio prestado. Agradeço, em especial aos colegas Simone da Silva Guimarães e Amaro Juarez Vaz Machado pela disponibilidade em ajudar, pelo incentivo e amizade.

Aos gerentes Renato Barbosa e José Lourival Magri pelo apoio, incentivo e contribuições na elaboração dos artigos .

Aos amigos, colegas e a todos que contribuíram direta ou indiretamente para o desenvolvimento da pesquisa.

Em especial Usina Térmelétrica de Charqueadas à qual disponibilizou os dados para esta pesquisa e tornou possível o desenvolvimento de um estudo que possibilitou meu crescimento dentro do universo Meio Ambiente.

À meus pais “ in memorium” pelo amor, formação e educação que recebi e aos meus irmãos, pelo carinho e amizade.

À minha família, meu marido Volney e filho Vítor por todo apoio, especialmente na fase de finalização do trabalho. Amo vocês!

# ANÁLISE E DISPERSÃO (CAL PUFF) DE ELEMENTOS TRAÇO EM USINA TÉRMICA A CARVÃO

Autor: Rita Clarice Machado Tissot

Orientadora: Rita de Cássia Marques

Alves

Resumo: O carvão ainda é a fonte de energia primária mais utilizada no mundo, apesar dos desafios ambientais decorrentes de seu uso, sejam eles, relacionados a mineração, ao efeito estufa, a emissão de poluentes convencionais e de elementos traço para a atmosfera. É de grande importância os estudos a cerca desse combustível para que o conhecimento auxilie no enfrentamento dos desafios da sua utilização, principalmente no estado do Rio Grande do Sul que possui as maiores reservas e potencial de utilização desse minério no país. Este estudo tem como objetivo avaliar o impacto das emissões atmosféricas gerados por uma usina termelétrica a carvão, que operou durante 54 anos (1962-2016) na região metropolitana de Porto Alegre, no Rio Grande do Sul, e que passou por uma série de alterações tecnológicas, com vistas a redução das emissões atmosféricas decorrentes do processo de combustão do carvão. Com base nos dados de geração de energia e consumo de carvão da usina termelétrica, da qualidade do ar obtida em estações de monitoramento, levando-se em conta as melhorias ambientais realizadas durante o período de funcionamento e após o fechamento da unidade, estruturou-se esta pesquisa. O comportamento de elementos químicos durante os processos de combustão e controle de poluentes (filtro mangas e lavador de gases), bem como suas emissões e a dispersão na atmosfera (modelo CALPUFF) foram avaliadas. Utilizando-se a série histórica de dados de monitoramento da qualidade do ar (material particulado, dióxido de enxofre -  $\text{SO}_2$  e óxidos de nitrogênio  $\text{NO}_x$ ), de duas estações monitoramento próximas à usina avaliou-se a influência das emissões atmosféricas da termelétrica nas diferentes condições de controle de poluentes utilizados. Para tanto, foram analisados elementos químicos nas correntes do processo de combustão, nas entradas e saídas dos equipamentos de controle de emissões, nas emissões e em amostras de particulado coletados nas estações de monitoramento da qualidade do ar. Os dados obtidos indicaram que a implantação das tecnologias de redução de poluentes trouxeram reflexos positivos para a qualidade do ar. No entanto, após a o encerramento das atividades da usina não observou-se melhoria na qualidade do ar como um todo, os resultados do monitoramento, após a saída de operação da usina, mostraram redução da concentração do  $\text{SO}_2$  monitorado na estação de qualidade do ar mais próxima da usina e elevação na concentração do  $\text{SO}_2$  monitorado na estação mais distante. A caracterização morfológica das partículas totais em suspensão presentes no ar atmosférico, mostrou a presença de partículas heterogêneas com diferentes formas e tamanhos. Os elementos majoritários predominantes foram o silício e o alumínio, e os elementos traço Ferro e Manganês como os de maior concentração, nos dois locais avaliados. A avaliação do comportamento dos elementos químicos durante o processo de combustão mostrou, como reportado na bibliografia, o enriquecimento de alguns elementos. As análises dos elementos químicos realizadas nas diferentes correntes do processo de lavagem, indicou que o comportamento desses elementos após a passagem pelos filtros de mangas e lavador de gases tiveram redução na sua concentração, como por exemplo os elementos Ferro, Níquel, Cromo, Manganês e Vanádio e

a remoção dos elementos Chumbo, Selênio, Cobalto, Cobre e Titânio, denotando a importância não só dos equipamentos que reduzem a emissão do material particulado para a atmosfera, como a lavagem dos gases que exerce papel fundamental na remoção de poluentes importantes do ponto de vista ambiental e de saúde humana. A dispersão atmosférica dos poluentes emitidos, foi realizada através do modelo CALPUFF para os poluentes SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, material particulado- MP e para os elementos Cromo, Ferro, Magnésio, Manganês e Níquel. As concentrações máximas obtidas com a modelagem para os parâmetros de material particulado, SO<sub>2</sub> e NO<sub>x</sub> representaram de 1 a 9% do padrão de qualidade do ar definido na resolução CONAMA 03/90, padrão vigente até novembro de 2018. A dispersão dos elementos traço emitidos na atmosfera apresentou a mesma distribuição do material particulado. Dentre os elementos traço emitidos utilizados na modelagem atmosférica, o Ni e Cd pertencem aos elementos de moderada preocupação ambiental. Os resultados desta pesquisa, permitem confirmar o enriquecimento dos elementos químicos na combustão do carvão, o efeito secundário de redução ou retenção de elementos químicos pela lavagem úmida dos gases, cuja função principal é o abatimento do SO<sub>2</sub> e comprovam a importância dos controles ambientais para a melhoria da qualidade do ar confirmada pela análise histórica dos dados apresentados e a relevância da modelagem atmosférica para auxiliar na avaliação ambiental de regiões com diversas fontes de emissão.

Palavras-chave: Carvão, Qualidade do Ar, Elementos Traço



# ANALYSIS AND DISPERSION (CAL PUFF) OF TRACE ELEMENTS IN COAL THERMOELECTRIC POWER PLANT

Author: Rita Clarice Machado Tissot

Adviser: Rita de Cássia Marques Alves

Abstract: Coal is still the most widely used primary energy source in the world, despite the environmental challenges arising from its use, whether related to mining, the greenhouse effect, the emission of conventional pollutants and trace elements into the atmosphere. Studies about this fuel are of great importance so that knowledge helps in facing the challenges of its use, especially in the state of Rio Grande do Sul, which has the largest reserves and potential use of this ore in the country. This study aims to evaluate the impact of atmospheric emissions generated by a coal-fired thermoelectric plant, which operated for 54 years (1962-2016) in the metropolitan region of Porto Alegre, Rio Grande do Sul, and has undergone a series of changes. technologies to reduce atmospheric emissions from the coal combustion process. Based on the power generation and coal consumption data of the thermal power plant, the air quality obtained at monitoring stations, taking into account the environmental improvements made during the operation period and after the shutdown of the unit, this research. The behavior of chemical elements during the combustion and control processes of pollutants (filter bag and scrubber), as well as their emissions and dispersion in the atmosphere (CALPUFF model) were evaluated. Using the historical series of air quality monitoring data (particulate matter, sulfur dioxide - SO<sub>2</sub> and NO<sub>x</sub> nitrogen oxides) from two monitoring stations near the plant, the influence of thermoelectric plant atmospheric emissions on the different control conditions of pollutants used. For this purpose, chemical elements were analyzed in the combustion process currents, in the emissions control equipment inlets and outlets, in the emissions and in particulate samples collected at the air quality monitoring stations. The data obtained indicated that the implementation of pollutant reduction technologies brought positive reflections on air quality. However, after the shutdown of the plant's activities there was no improvement in air quality, the monitoring results, after the plant's departure from operation, showed a reduction in the concentration of the monitored SO<sub>2</sub> at the highest air quality station. near the plant and increase in concentration of monitored SO<sub>2</sub> at the most distant station. The morphological characterization of the total suspended particles presents in the atmospheric air, showed the presence of heterogeneous particles with different shapes and sizes, the predominant major elements were silicon and aluminum, and the trace elements Iron and Manganese as those of higher concentration. two locations evaluated. The evaluation of the behavior of chemical elements during the combustion process

showed, as reported in the bibliography, the enrichment of some elements. The analysis of chemical elements performed in the different streams of the washing process indicated that the behavior of these elements after passing through the bag filters and gas scrubber had a reduction in their concentration, such as the elements Iron, Nickel, Chromium, Manganese and Vanadium and the removal of lead, selenium, cobalt, copper and titanium elements, denoting the importance not only of equipment that reduces the emission of particulate matter into the atmosphere, as well as gas scrubbing that plays a fundamental role in the removal of important point pollutants. from an environmental and human health perspective. The atmospheric dispersion of the emitted pollutants was performed by the CALPUFF model for the SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, PM-particulate pollutants and for the elements Chromium, Iron, Magnesium, Manganese and Nickel. The maximum concentrations obtained with the modeling for the particulate matter parameters, SO<sub>2</sub> and NO<sub>x</sub> represented from 1 to 9% of the air quality standard defined in resolution CONAMA 03/90, effective until November 2018. The dispersion of trace elements. emitted into the atmosphere showed the same distribution of particulate matter. Among the emitted trace elements used in atmospheric modeling, Ni and Cd belong to elements of moderate environmental concern. The results of this research allow to confirm the enrichment of chemical elements in the combustion of coal, the side effect of reduction or retention of chemical elements by wet scrubbing of gases, whose main function is the SO<sub>2</sub> abatement and prove the importance of environmental controls for the air quality improvement confirmed by historical analysis of the presented data and the relevance of atmospheric modeling to assist in the environmental assessment of regions with different emission sources.

Keyword: Coal, Air Quality, Trace Elements

## Sumário

<b>1. INTRODUÇÃO</b> .....	<b>2</b>
<b>1.1 Objetivos</b> .....	<b>6</b>
1.1.1 Objetivos Gerais:.....	6
1.1.2 Objetivos Específicos:.....	6
<b>1.2 Área de estudo</b> .....	<b>7</b>
<b>1.3 Fundamentação Teórica</b> .....	<b>9</b>
1.3.1 Caracterização do carvão .....	10
1.3.2 Processo de Combustão do Carvão – Usina Termelétrica de Charqueadas .....	13
1.3.2 Controles Ambientais – Usina Termelétrica de Charqueadas .....	14
1.3.2.1 Filtros de Mangas FM ou FF (Fabric Filter) .....	15
1.3.2.2 Lavador de gases .....	15
1.3.3 Monitoramento da Qualidade do Ar .....	15
<b>REFERÊNCIAS</b> .....	<b>24</b>
<b>2. RESULTADOS APRESENTADOS NA FORMA DE ARTIGOS CIENTÍFICOS</b> .....	<b>27</b>
<b>2.1 ARTIGO 1 - Avaliação do Material Particulado no Ar atmosférico em Área de Influência de Usina Termelétrica considerando as diferentes tecnologias adotadas no controle de efluentes atmosféricos</b> .....	<b>27</b>
<b>2.1 ARTIGO 2 - Avaliação da Influência dos Poluentes de Termelétrica a Carvão na Qualidade do Ar</b> .....	<b>46</b>
<b>2.2 ARTIGO 3 Análise e Dispersão (CAL PUFF) de Elementos Traço em Usina a Carvão</b> .....	<b>62</b>
<b>3. CONSIDERAÇÕES FINAIS</b> .....	<b>78</b>

## 1. INTRODUÇÃO

Mesmo com a crescente participação das energias renováveis na matriz energética global e com as restrições ambientais impostas ao carvão, o mundo continuará dependente do carvão como fonte energética mundial. Em torno de 40% da energia elétrica mundial é proveniente do carvão e embora o consumo de carvão nos países desenvolvidos esteja em declínio, continua crescendo nos países em desenvolvimento. (BP, 2018).

A China continuará a ser o maior consumidor individual de carvão em 2040 apesar de declínio no consumo do país ao longo do tempo, já o consumo de carvão na Índia continuará a crescer 2,6% ao ano / média de 2015 a 2040, com o país ultrapassando os Estados Unidos como o segundo maior consumidor de carvão antes de 2020. (BP Statistical Review 2018)

Segundo Müller (1987) o carvão mineral é o recurso energético, não renovável de maior abundância no Globo Terrestre, sendo descoberto e conhecido pelo homem muitos séculos antes de Cristo. É descrito mais tarde por Marco Polo nas Minas de Chengi, em 1280 d.C, em suas viagens pela China.

No Brasil, para Müller (1987), a descoberta do carvão mineral data do ano de 1875. Neste período, pesquisadores estrangeiros desenvolveram trabalhos pioneiros sobre o carvão brasileiro, através do envio de várias amostras para o exterior. Também houve o desenvolvimento de inúmeros projetos por parte de empresas de mineração, em fase de formação começando de maneira efetiva a pesquisa e a produção de carvão no Brasil, nos estados da região Sul.

O Brasil possui uma reserva identificada de aproximadamente 32 bilhões de toneladas de carvão, localizadas na região coberta por rochas da Bacia do Paraná no Rio Grande do Sul, Santa Catarina e, subsidiariamente, no Paraná e em São Paulo. (CEM- RS 1988)

Os polos de geração de energia encontram-se principalmente na região Sul, nos últimos anos outras unidades de geração de energia foram instaladas na região nordeste do país com utilização de carvão importado. Hoje, cerca de 85% do consumo de carvão são para abastecer usinas termelétricas, além de 6% na indústria de cimento, 4% na indústria de papel e celulose e 5% nas indústrias de cerâmica, alimentos e secagem de grãos. Além da utilização do carvão nacional,

o Brasil importa carvão de outros países.

Em 2012 os principais países dos quais importou carvão foram: EUA(39%), Austrália (17%), Colômbia (16%), Canadá (9%) e a Rússia (6%). (CRM-2014)

Os primeiros aproveitamentos do carvão mineral para a geração de energia elétrica no Brasil datam de fins dos anos 1950, em decorrência da sua substituição por óleo diesel e eletricidade no setor do transporte ferroviário. Naquela época, foram iniciados estudos e, em seguida, a construção das usinas termelétricas de Charqueadas, no Rio Grande do Sul, com 72 MW de potência instalada, Capivari, em Santa Catarina, com 100 MW, e Figueira, no Paraná, com 20 MW.(ANEEL; 2000).

Há diferentes processos de combustão do carvão e as emissões de poluentes estão associadas ao tipo de processo desenvolvido. O método mais comumente usado é a queima do carvão pulverizado (PCC- *Pulverised Coal Combustion*). O carvão é moído em um pó muito fino e entra na fornalha junto com o ar de combustão através dos queimadores.

A combustão ocorre em uma temperatura acima de 1.000°C com variações dependendo do tipo de carvão. O vapor gerado aciona o gerador e a turbina. O tempo de residência das partículas na caldeira é muito pequeno, por isso as partículas devem ser pequenas o suficiente para que a combustão ocorra nesse intervalo de tempo de forma mais eficiente.

A tecnologia está bem desenvolvida e existem milhares de unidades em todo o mundo, sendo responsável por mais de 90 % da capacidade do carvão utilizado para geração de energia. Essa tecnologia é utilizada para caldeiras com saída de turbinas de 50 a 1.300 MWe.

Embora o carvão permaneça como um importante energético o maior desafio da sua utilização consiste na redução dos impactos ambientais. Usinas de energia movidas a carvão liberam SO<sub>2</sub> e NO<sub>x</sub> para o ambiente bem como CO<sub>2</sub> e partículas em suspensão.

Após da combustão do carvão, cerca de 25% da matéria mineral original é encontrada nas cinzas de fundo e em torno de 75% na cinza leve gerada.

Os processos que envolvem combustão são considerados importantes emissores de elementos traço para a atmosfera, tais como mercúrio (Hg), cádmio (Cd), arsênio (As), molibdênio (Mo), vanádio (V) entre outros.

Quase a maioria dos elementos da tabela periódica pode ser detectada em

quantidades mensuráveis em carvão. No entanto, pouco é conhecido sobre o modo de ocorrência ou distribuição desses elementos. Segundo Gupta (2010), os elementos presentes no carvão podem ser classificados em três grupos com base em sua concentração:

- a) elementos principais (C, H, O, N, S), com concentração acima de 1000 ppm;
- b) elementos que incluem principalmente matérias minerais de carvão (Si, Al, Ca, Mg, K, Na, Fe, Mn, Ti) e halogênios (F, Cl, Br, I), presentes em carvão com concentrações entre 100 e 1000 ppm; e
- c) Elementos traço, com concentração abaixo de 100 ppm.

Os elementos traço são emitidos durante a combustão do carvão em quantidades que dependem das propriedades físicas e químicas do próprio elemento, da concentração do elemento no carvão, das condições de combustão, do tipo de dispositivo de controle de partículas usado e sua eficiência de coleta como uma função do tamanho da partícula

Segundo Kalkreuth et.al (2006) a distribuição dos elementos traço nos carvões da bacia do Paraná, nas minas de Santa Teresinha, Leão- Butiá e Candiota, está bem dentro da faixa típica das bacias de carvão de outras áreas, apesar do fato de os carvões da bacia do Paraná serem muito ricos em rendimento de cinzas. As concentrações médias de elementos de interesse ambiental (As, B, Be, Cd, Co, Cr, Cu, Hg, Li, Mn, Mo, Ni, Pb, Sb, Se, T, U, V, Zn) são semelhantes ou menor que os valores médios para o carvão dos EUA. No entanto, considerado em uma base de energia igual, os carvões da bacia do Paraná produzirão em combustão 5 a 10 vezes a quantidade da maioria dos elementos em comparação com um peso igual de carvão dos EUA.

Um controle eficiente de material particulado, tais como precipitadores, ou filtro de mangas captura em geral os elementos As, Cd, Cr, Ni e Pb. As partículas finas tendem a transportar mais os elementos traço semi-voláteis devido a sua maior área de superfície em condições de igualdade em massa. Uma combinação de tecnologia de controle de partículas e FGD – Flue Gas Dessulfuration pode auxiliar na captura de outros elementos traço. contudo, alguns elementos traço, incluindo Hg, Cl, Se, B podem ser emitidos uma vez que estas não são consistentemente capturados pelos dispositivos de controle de poluentes atmosféricos convencionais existentes. O sistema de controle de NOx têm pouca

influência sobre o comportamento ou remoção dos elementos traço. (IEA- 2012)

Um número de estudos avaliou o comportamento de partição e destino dos elementos traço nos processos de combustão do carvão em diferentes condições operacionais enquanto informações desse comportamento, e destino em plantas equipadas com FGD são muito mais escassas, mas os estudos existentes demonstram que a química do FGD permite também a captura de outros poluentes além do enxofre.

Os trabalhos, sobre elementos traço emitidos, encontrados na literatura brasileira, até o presente momento, se baseiam em dados obtidos através das análises dos carvões brasileiros e cálculos baseados no fator de emissão das termelétricas e dados experimentais das concentrações desses elementos traço no material particulado.

O uso de modelagem atmosférica para estimar a dispersão de poluentes na atmosfera vem sendo empregada em muitos estudos e têm demonstrado resultados capazes de descrever o comportamento dos poluentes depois de emitidos pelas fontes fixas em variadas condições climáticas.

Diante desse contexto, a hipótese de pesquisa considerou a avaliação dos elementos menores presentes, no carvão, nas correntes do processo de combustão e emissão, para então realizar a modelagem dos poluentes e elementos traço identificados na emissão através do modelo de dispersão (CALPUFF) *California Puff Model*. Esse modelo de dispersão Lagrangeano não estacionário permite validar um campo de concentração, simulando o transporte, a transformação e a remoção de poluentes na atmosfera a partir de condições meteorológicas variáveis no espaço e no tempo (Scires, 2000).

Por fim a presente pesquisa buscou avaliar a relação entre os resultados obtidos através da modelagem e dados de qualidade do ar obtidos em estações de monitoramento instaladas na região estudada. Os resultados encontrados poderão contribuir para enfrentar o desafio da utilização do carvão como fonte energética, pois o conhecimento do comportamento dos elementos traço do carvão nacional em processos de combustão, da sua captura por meio dos controles ambientais e forma como se dispersam na atmosfera auxilia nas estratégias de escolha da tecnologia de combustão e controles, buscando emissões menores e consequentemente redução dos riscos ambientais associados a utilização do carvão.

## 1.1 Objetivos

### 1.1.1 Objetivos Gerais:

Realizar a modelagem atmosférica, utilizando o modelo de dispersão CALLPUF, dos poluentes atmosféricos, partículas inaláveis (PM10), dióxido de enxofre (SO<sub>2</sub>) e dióxido de nitrogênio (NO<sub>2</sub>) e elementos traço oriundos de termelétrica a carvão.

### 1.1.2 Objetivos Específicos:

Determinar a concentração dos elementos traço nas diferentes correntes do processo de geração termelétrica a carvão;

Avaliar a emissão e captura de elementos traço na combinação da utilização de tecnologia de FM– Filtro de Mangas e FGD, para o carvão ;

Comparar os dados obtidos na modelagem atmosférica com padrões de qualidade do ar e resultados do monitoramento realizados na região;

Analisar os elementos traço em material particulado em amostras de particulado em área de influência da termelétrica e avaliar sua relação com as principais fontes de emissão da região;

Avaliar a contribuição das emissões atmosféricas da Usina Termelétrica de Charqueadas (Região Metropolitana de Porto Alegre – RS), na qualidade do ar com base nos resultados das estações instaladas na região, onde os parâmetros associados a termelétrica, material particulado (PTS), partículas inaláveis (PM10), dióxido de enxofre (SO<sub>2</sub>) e óxidos de nitrogênio (NO<sub>x</sub>), são monitorados.



## 1.2 Área de estudo

O município de Charqueadas, possui uma área de territorial de 216,51 km<sup>2</sup> e uma população de cerca de 36.000 habitantes (IBGE, 2013). Situa-se na configuração topográfica da Depressão Central do estado do Rio Grande do Sul apresentando uma altitude média de 20 metros ao nível do mar.

A cidade de Charqueadas faz parte da microrregião carbonífera situada na porção oriental do Baixo Jacuí. O clima da bacia do Baixo Jacuí é do tipo mesotérmico, conforme a classificação de Köppen, caracterizada por temperaturas compreendidas entre -3 e 18°C no mês mais frio e superior a 22°C no mês mais quente, quanto a precipitação possui totais anuais superiores a 1.200 mm bem distribuídos ao longo do ano. Os ventos predominantes são de Sudeste, com maior intensidade nos meses de primavera e a umidade relativa do ar é alta no ano inteiro, sempre maior que 70%, em função do alto teor de umidade das massas atuantes (FERRARO & HAZENACK 2000).

A economia do município de Charqueadas é predominantemente industrial. Além da termelétrica e da siderúrgica que impulsionaram o crescimento industrial de Charqueadas, outras empresas fazem parte do parque industrial da cidade como a empresa mineradora daa região- que possui um entreposto de armazenamento e manuseio de carvão, uma empresa fabricante de juntas homocinéticas e empresa do ramo metal mecânico que atua fabricação e montagem no ramo de estruturas metálicas e outras indústrias de menor porte.

O município recebeu o projeto, de origem alemã, da Usina termelétrica na década de 1950. Os filtros originais para a captação das cinzas resultantes da combustão eram mecânicos (ciclones), com capacidade para captar entre 40 e 60% das cinzas leves produzidas.

A usina de Charqueadas funcionou com esse controle pouco eficiente, desde o início de sua operação em 1962 até dezembro 1987 (JICA, 1997).

Em 1974 entrou em operação a Siderúrgica Aços Finos Piratini, impactando ainda mais a qualidade do ar devido as emissões lançadas sem controle para a atmosfera. As melhorias no controle de emissão de poluentes na termelétrica iniciaram no ano de 1987, quando foram instalados na Usina Termelétrica os precipitadores eletrostáticos com eficiência de 98,99%, essa mudança trouxe

reflexos positivos para a melhoria da qualidade do ar na região.

A partir de 2009, foram instalados na termelétrica os filtros de mangas, equipamento que aumentou a eficiência do despoeiramento para 99,9% e instalado o lavador de gases (FGD) *Flue Gas Dessulfurization* com eficiência de 90% na remoção dos gases de enxofre.

A instalação desses equipamentos foi para atingir os seguintes limites de emissão de poluentes corrigidos a 6% de oxigênio: SO<sub>2</sub> 400 mg/Nm<sup>3</sup>, NO<sub>x</sub> 550 mg/Nm<sup>3</sup> e Material particulado 80 mg/ Nm<sup>3</sup>. Com a nova tecnologia a redução de poluentes na fonte de emissão foi da ordem de dez vezes na emissão de dióxido de enxofre e em torno de quatro vezes na emissão de material particulado.

Outro fato importante para a qualidade do ar na região é a entrada em operação do sistema de despoeiramento da Siderúrgica (antiga Aços Finos Piratini), esse sistema entrou em operação no ano de 2000.

Na figura 1 é apresentado o mapa do Brasil, Rio Grande do Sul, Região Metropolitana de Porto Alegre, e os municípios de Charqueadas e Triunfo.

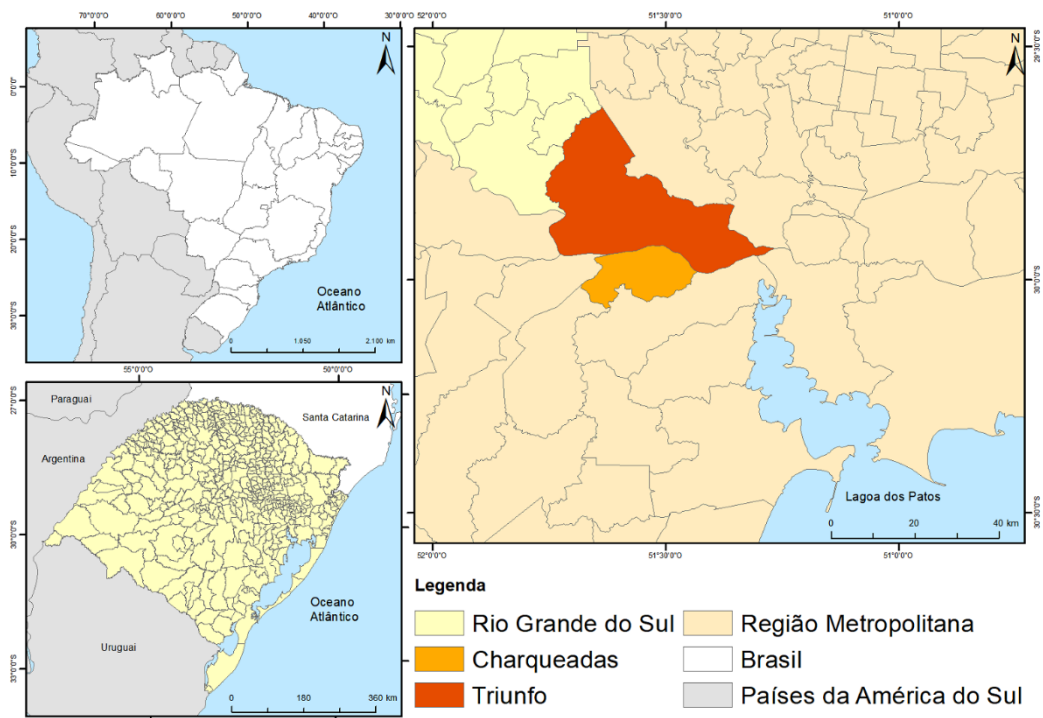


Fig1 – Mapa do Brasil, do Rio Grande do Sul, Região Metropolitana de Porto Alegre, município de Charqueadas e Triunfo.

Na figura 2 é apresentada a localização da usina no município de Charqueadas e as Estações de qualidade do ar em Charqueadas e Triunfo.

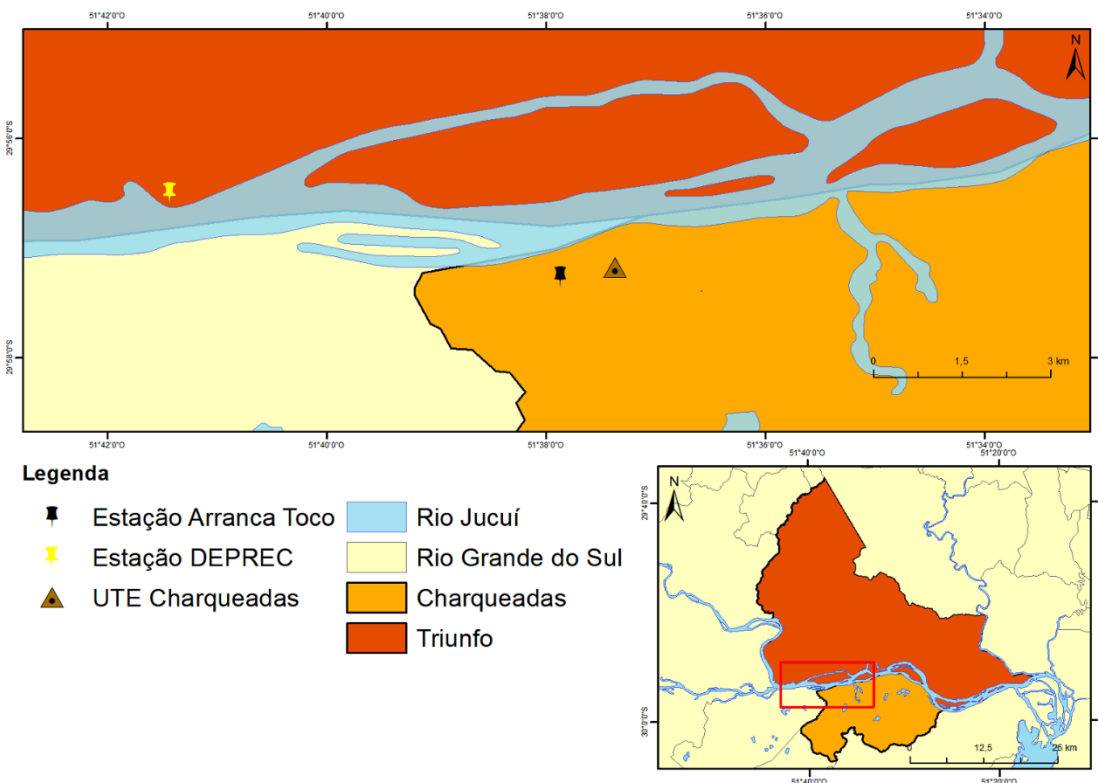


Fig2 – Mapa de localização da usina em Charqueadas e das Estações de Qualidade do Ar nos municípios de Charqueadas e Triunfo.

### 1.3 Fundamentação Teórica

As jazidas Brasileiras de carvão de maior importância são oito: Sul-Catarinense (SC), Santa Teresinha, Chico Lomã, Charqueadas, Leão, Iruí, Capané e Candiota (RS). No entanto, no Brasil o uso energético do carvão fóssil ainda é bastante restrito, representando apenas 6,6% da matriz energética (SME-RS 2016) O mapa da figura 3 apresenta as principais jazidas de carvão conhecidas no Brasil

O carvão é uma complexa e variada mistura de componentes orgânicos sólidos, fossilizados ao longo de milhões de anos, como ocorre com todos os combustíveis fósseis. Sua qualidade, determinada pelo conteúdo de carbono, varia de acordo com o tipo e o estágio dos componentes orgânicos. (BEN 2013).

Pelas características dos carvões fósseis sul brasileiros, tais como: baixo poder

calorífico, alto teor em matéria inorgânica e um significativo teor em enxofre, a sua utilização tem sido direcionada preferencialmente para a geração de vapor, em termelétricas, sendo hoje a forma mais expressiva de utilização desse combustível ( Mallman & Zwonok – 2016).

Os elementos traços, apesar de estarem presentes em baixas concentrações no carvão, representam um risco potencial ao ambiente devido a toxicidade de alguns desses elementos, dentro desse contexto é importante a quantificação dos elementos químicos no carvão, o conhecimento do comportamento desse elementos no processo de combustão, como o enriquecimento nas partículas de cinzas, a afinidade com as distintas cinzas que se formam na queima e a capacidade dos equipamentos de reterem esse elementos químicos através dos processos físicos e químicos de retenção de poluentes.

Em face aos desafios relacionados a utilização do carvão em uma termelétrica que operou mais de 50 anos e que passou por uma série de modificações com vistas a reduzir o impacto ambiental associado a queima do carvão, procurou-se a partir deste trabalho, analisar os dados de qualidade do ar na região de influência da termelétrica, levando em consideração as alterações tecnológicas realizadas e sua influência na qualidade do ar bem como conhecer o comportamento dos elementos traço durante o processo de combustão, emissão e sua dispersão na atmosfera.

### 1.3.1 Caracterização do carvão

Os carvões são diferentes pelas características de poder calorífico, concentrações de enxofre, material volátil, umidade e distribuições granulométricas, de modo que os materiais obtidos das minas têm características próprias, pois cada jazida de carvão tem um histórico diferente de formação.

Os carvões da área que abrange a região considerada como Baixo Jacuí, entre Charqueadas e Minas do Leão, são carvões classificados como sub-betuminosos. (SUNDSTRON, 2012).

Os elementos-traço presentes no carvão podem estar associados tanto na matéria orgânica, denominados macerais, como na matéria inorgânica, denominados minerais. A maioria dos elementos encontram-se associados à fração mineral do carvão, e muitos destes que são de interesse ambiental (As, Cd, Hg, Pb e Se) estão tipicamente associados à pirita e outros sulfetos. O

comportamento dos elementos traço durante a combustão do carvão depende de sua concentração e do modo de ocorrência. (PIRES et al. 2002).

KLEIN et al., propuseram em 1975 uma classificação de acordo com o comportamento dos elementos durante a combustão e de sua forma de distribuição nas cinzas formadas durante a combustão do carvão:

Grupo I – elementos que não são vaporizados mesmo nas altas temperaturas de combustão (1200-1600°C) fundindo-se e dando origem à matriz das cinzas volantes e pesadas.

Grupo II – Elementos que são volatilizados durante a combustão e que condensam sobre a superfície das cinzas com o resfriamento subsequente dos gases. Como as cinzas volantes permanecem em contato com os gases de combustão, as espécies voláteis condensam preferencialmente sobre estas partículas, enriquecendo-as nestas espécies.

Grupo III – São elementos que volatilizam durante a combustão mas não condensam, sendo emitidos na forma de vapores.

O controle dos elementos de classe I está diretamente relacionado ao controle das emissões totais de material particulado, enquanto o controle dos elementos da classe II depende da coleta de partículas finas. Devido à variabilidade na eficiência do dispositivo de controle de partículas, as taxas de emissão desses elementos podem variar substancialmente.

A volatilidade dos elementos de classe 3 significa que os controles de partículas têm apenas um impacto limitado nas emissões desses elementos.

A queima de carvões com baixos teores de enxofre e cinzas, além de reduzirem a emissão de SO<sub>2</sub> e particulados geram menores emissões de elementos traço. O beneficiamento prévio do carvão altera significativamente as concentrações de vários destes componentes e conseqüentemente suas emissões pela chaminé. (PIRES et al. 2002).

Devido à variabilidade na eficiência do dispositivo de controle de partículas, as taxas de emissão desses elementos podem variar substancialmente. (QUERO et al. 2000)

Vários estudos mostraram que a distribuição de elementos traço difere significativamente entre carvões de diferentes fontes e até mesmo entre carvões da mesma mina (KOLKER et al. 2000).

A concentração de elementos traço nas camadas de carvão é indicativa de diferentes processos de sedimentação. No entanto, para ter uma avaliação realista da liberação desses elementos durante os processos de utilização de carvão, tais como combustão e gaseificação, é vital ter conhecimento sobre as variações dos elementos traço contidos nos diferentes carvões.

XU et al. (2004) cumpriram e tabularam os valores médios de concentração de 10 elementos traço em sete carvões chineses e 38 elementos traço nos carvões dos Estados Unidos britânico e australiano com base em diferentes fontes e investigações relativas a mais de 1500 amostras. Eles categorizaram os elementos em quatro fluxos principais com concentração > 50 ppm, 50-10 ppm, 10-1 ppm e <1 ppm.

Os valores médios das concentrações para elementos traço em carvões internacionais são dados na tabela1 abaixo.

Tabela 1: Valores Médios de elementos traço em carvão internacional

Elemento	Média mg/kg	Range mg/kg
Arsênio (A)	2,69	0,36-9,8
Boro (B)	47	11-123
Berílio (Be)	1,0	0,1-2,0
Cadmio ( Cd)	0,093	0,01-0,19
Cobalto (Co)	4,5	1,2-7,8
Mercúrio ( Hg)	0,091	0,03-0,19
Chumbo (Pb)	7,0	1,1-22
Selênio ( Se)	2,15	0,15-5,0
Cromo (Cr)	17,6	2,9-34
Cobre ( Cu)	10,8	1,8-20
Manganês ( Mn)	40	8-93
Níquel ( Ni)	11,1	1,5-21
Zinco ( Zn)	12,7	5,1-18
Flúor (F)	120	15-305
Cloro ( Cl)	440	25-1420

Adaptado IEA – *Clean Coal Centre* – Setembro - 2012

Estudos relacionados à análise dos constituintes do carvão e das cinzas volantes e pesadas geradas no processo de aproveitamento energético desse combustível são relevantes, visto que as características do carvão mudam de acordo com a sua composição, modo de ocorrência e distribuição dos elementos traço nas frações orgânicas e inorgânicas.

Na tabela 2 são mostrados dados experimentais da década de 90 referentes a concentração média (ppm) de elementos traço emitidos junto ao material particulado pela usina termelétrica de Charqueadas obtidos no Relatório da Japan International Cooperation Agency, nessa época a usina era equipada com precipitadores eletrostáticos (JICA, 1997).

Tabela 2: Concentração de elementos traço nas cinzas volantes emitidas à atmosfera, oriundas da queima do carvão da Usina Termelétrica de Charqueadas. Dados em ppm.

Elemento	UTE Charqueadas
Berílio (Be)	2,6
Cobalto (Co)	1,0
Níquel (Ni)	38,4
Chumbo (Pb)	8,9

Fonte: JICA 1997

Não existe nenhum método específico de controle de emissão dos elementos-traço oriundos da queima do carvão. Entretanto, os processos de controle de material particulado e de gases agem também em menor ou maior grau, na remoção dos elementos-traço (PIRES et al. 2002)

1.3.2 Processo de Combustão do Carvão – Usina Termelétrica de Charqueadas

As usinas térmicas são constituídas basicamente de três elementos principais: caldeira, turbina e alternador. A caldeira considerada como o mais característico equipamento de uma usina térmica a vapor, nada mais é do que um trocador de calor complexo que, aproveitando a energia térmica liberada pela queima do combustível (carvão mineral) em sua câmara de combustão, eleva a temperatura da água em seu interior gerando vapor a altas temperaturas e pressões.

A turbina é uma máquina térmica rotativa que transforma a energia potencial do vapor (pressão) produzido na caldeira em energia mecânica (rotação) a ser transferida ao alternador por intermédio da energia cinética (velocidade).

O alternador produz a energia elétrica pela transformação da energia mecânica recebida da turbina através do seu eixo. A transformação de energia mecânica em energia elétrica se faz por meio de ações eletromagnéticas entre o campo magnético do rotor e o circuito elétrico do induzido (estator).

O processo de combustão utilizado na Usina de Charqueadas é de carvão pulverizada (CP), o carvão é queimado como partículas pulverizadas.

O carvão utilizado era do tipo CE 3100 Kcal/Kg, teor de cinzas em torno de 54% , teor de enxofre de 1% . A capacidade de geração de 72MWh com uma capacidade de combustão de até 2.000 toneladas de carvão por dia.

### 1.3.2 Controles Ambientais – Usina Termelétrica de Charqueadas

A queima de carvão em indústrias e termelétricas causa impactos ambientais, pela emissão de material particulado e de gases poluentes, dentre os quais se destacam o dióxido de enxofre (SO<sub>2</sub>) e os óxidos de nitrogênio (NO<sub>x</sub>). Além de prejudiciais à saúde humana, esses gases são os principais responsáveis pela formação da chamada chuva ácida, que provoca a acidificação do solo e da água e, conseqüentemente, alterações na biodiversidade, entre outros impactos negativos.

Atualmente a concepção dos projetos de termelétricas, vem evoluindo, no sentido de minimizar o impacto ambiental na área de influência das usinas térmicas.

Visando adotar tecnologia para redução do impacto ambiental da Usina de Charqueadas e atendimento aos parâmetros de emissão definidos no Licenciamento Ambiental para os poluentes material particulado, dióxido de



enxofre e óxidos de nitrogênio, a usina era equipada com filtro-mangas e Lavador de gases úmido, cujos princípios tecnológicos são descritos a seguir:

#### 1.3.2.1 Filtros de Mangas FM ou FF (Fabric Filter)

O princípio básico de funcionamento dos filtros de manga é bastante simples, constituindo-se em fazer passar o gás de combustão com cinzas através de um compartimento, onde estão localizados os filtros. Os mecanismos envolvidos na coleta de partículas em filtros de mangas são principalmente a impactação inercial, a difusão, a atração eletrostática e a força gravitacional e secundariamente, a interceptação. O filtro de mangas são equipamentos enquadrados na categoria dos de alta eficiência de coleta, a eficiência de remoção das cinzas são elevadas, atingindo valores acima de 99,9% (SANTINI, 2011).

#### 1.3.2.2 Lavador de gases

A dessulfuração direta de gases de combustão trata da captura, por reação química sólido-gás, de dióxido de enxofre ( $\text{SO}_2$ ), pelo óxido de cálcio ( $\text{CaO}$ ) resultante de decomposição do carbonato de cálcio ( $\text{CaCO}_3$ ) presente no calcário.

Esta reação é otimizada em uma faixa estreita de temperatura a pressão atmosférica, ou próximo dela, obtendo como resultado a redução do  $\text{SO}_2$  nos gases de combustão e a formação de sulfato de cálcio ( $\text{CaSO}_4$ ), um sólido estável, que fica incorporado às cinzas resultantes da combustão do carvão.

A variação da razão molar entre o cálcio presente no calcário e o enxofre total presente no carvão mineral ( $\text{Ca/S}$ ), é outro fator que interfere diretamente na otimização do processo de captura do  $\text{SO}_2$ .

#### 1.3.3 Monitoramento da Qualidade do Ar

O nível de poluição atmosférica de determinada região é determinado pela quantificação das substâncias poluentes presentes no ar, essa quantificação é realizada através do monitoramento da qualidade do ar.

A definição de poluente atmosférico está definida na Resolução CONAMA 03 de 28/06/1990 como “qualquer forma de matéria ou energia com intensidade e em quantidade, concentração, tempo ou características em

desacordo com os níveis estabelecidos, e que tornem ou possam tornar o ar impróprio, nocivo ou ofensivo à saúde, inconveniente ao bem-estar público, danoso aos materiais, à fauna e à flora ou prejudicial à segurança, ao uso e gozo da propriedade e às atividades normais da comunidade”.

Quando se determina a concentração ao nível do solo de um certo poluente na atmosfera, mede-se o grau de exposição dos receptores como resultado final do processo de lançamento deste poluente na atmosfera, desde suas fontes de emissão, suas interações físicas (diluição) e químicas (reações) na atmosfera

Os principais e mais comumente medidos são os que servem como indicadores de qualidade do ar, tais como Dióxido de Enxofre (SO<sub>2</sub>), hidrocarbonetos totais, Óxido de Nitrogênio (NO<sub>x</sub>) e Material Particulado (MP).

As emissões de poluentes atmosféricos pelas fontes estacionárias e móveis de uma região, associadas às características topográficas e meteorológicas, determinam os níveis de qualidade do ar da mesma área ou região o que, em consequência, determina os possíveis efeitos adversos da poluição do ar sobre os receptores, que podem ser o homem, os animais, as plantas e os materiais em geral.

Os padrões de qualidade do ar (PQAr) segundo publicação da Organização Mundial da Saúde (OMS, 2005) variam de acordo com a abordagem adotada para balancear riscos à saúde, viabilidade técnica, considerações econômicas e vários outros fatores políticos e sociais, que por sua vez dependem, entre outras coisas, do nível de desenvolvimento e da capacidade nacional de gerenciar a qualidade do ar.

As diretrizes recomendadas pela OMS levam em conta esta heterogeneidade e, em particular, reconhecem que, ao formularem políticas de qualidade do ar, os governos devem considerar cuidadosamente suas circunstâncias locais antes de adotarem os valores propostos como padrões nacionais (MMA, 2018).

No Brasil, os padrões de qualidade do ar foram estabelecidos através da Resolução CONAMA N° 03/90 que vigorou até 19 de novembro de 2018 quando foi revogada e entrou em vigor a Resolução CONAMA 491/2018. Para este estudo foram considerados os padrões previstos na resolução CONAMA 03/90.

Segundo a resolução CONAMA 03/90 , os padrões de qualidade do ar podem ser divididos em primários e secundários.

São padrões primários de qualidade do ar as concentrações de poluentes que, ultrapassadas, poderão afetar a saúde da população.

São padrões secundários de qualidade do ar as concentrações de poluentes atmosféricos abaixo das quais se prevê o mínimo efeito adverso sobre o bem estar da população, assim como o mínimo dano à fauna e à flora, aos materiais e ao meio ambiente em geral

O objetivo do estabelecimento de padrões secundários é criar uma base para uma política de prevenção da degradação da qualidade do ar. Devem ser aplicados as áreas de prevenção por exemplo: parques nacionais, áreas de proteção ambiental, estâncias turísticas, etc. Não se aplicam, pelo menos em curto prazo, a áreas de desenvolvimento, onde devem ser aplicados os padrões primários. Como prevê a própria Resolução CONAMA N° 03/90, a aplicação diferenciada de padrões primários e secundários requer que o território nacional seja dividido em classes I, II e III conforme o uso pretendido. A mesma resolução prevê ainda que enquanto não for estabelecida a classificação das áreas, os padrões aplicáveis serão os primários.

Os parâmetros regulamentados são os seguintes: partículas totais em suspensão, fumaça, partículas inaláveis, dióxido de enxofre, monóxido de carbono, ozônio e dióxido de nitrogênio. Os padrões nacionais de qualidade do ar fixados na Resolução CONAMA N°03 de 28/06/90 são apresentados na tabela 3 abaixo.

Tabela 3- padrões Nacionais de Qualidade do Ar ( Resolução CONAMA N° 03 de 28/06/90)

---

Poluente	Tempo de Amostragem	de Padrão Primário $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Padrão Secundário $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Método de Medição****
Partículas Totais em Suspensão	24 horas*	240	150	Amostrador de Grandes Volumes

(PTS)	MGA**	80	60		
Partículas Inaláveis (PI)	24 horas*	150	150	Separação Inercial/Filtração	
	MAA***	50	50		
Fumaça	24 horas*	150	100	Refletância	
Dióxido de Enxofre (SO2)	24 horas*	365	100	Pararosanilina	
	MAA***	80	40		
Dióxido de Nitrogênio (NO2)	1 hora*	320	190	Quimiluminescência	
	MAA***	100	100		
Monóxido de Carbono (CO)		40.000	40.000	Infravermelho Dispersivo	não
	1 horas*				
		35 ppm	35 ppm		
	8 horas*	10.000	10.000		
Ozônio (O3)		9 ppm	9 ppm	Quimiluminescência	
	1 horas*	160	160		

- \* Não deve ser excedido mais que uma vez ao ano.
  - \*\* Média geométrica anual.
  - \*\*\* Média aritmética anual.
  - \*\*\*\* A resolução permite a utilização de método equivalente.
- 

A mesma resolução estabelece ainda os critérios para episódios agudos de poluição do ar. Ressalte-se que a declaração dos estados de Atenção, Alerta e Emergência requer, além dos níveis de concentração atingidos, a previsão de condições meteorológicas desfavoráveis à dispersão dos poluentes.

#### 1.3.4 Modelagem atmosférica

Há grande enfoque nas questões ambientais, principalmente os relacionados a emissão de poluentes para a atmosfera cujo nível de concentração ao nível do solo dependerá não somente da emissão, mas também de fatores meteorológicos, topográficos e de edificação, e das interações físico-químicas que ocorrem na atmosfera (SAMPAIO&PORTEZANI, 2017).

O aumento da emissão de poluentes na atmosfera decorrente do desenvolvimento industrial e urbano, causa problemas que afetam os processos naturais, influenciam a saúde humana e dos animais, prejudicam a vegetação, contribuem para a redução da visibilidade e da radiação solar podendo afetar até mesmo o tempo e o clima.

As redes de monitoramento ambiental constituem-se em um importante instrumento para avaliar a qualidade do ar, muitas vezes, por razões econômicas ou administrativas, o número de pontos de medida de uma rede é limitado ou a localização não é adequada. Por este motivo, os modelos matemáticos que simulam o transporte e a difusão dos poluentes na atmosfera constituem uma importante ferramenta para analisar a contribuição das diversas fontes para a poluição geral. A introdução da modelagem matemática produz um salto de qualidade na gestão da poluição atmosférica em respeito àquela possível somente através de medidas, porque os modelos de dispersão permitem funções não acessíveis às últimas (MOREIRA & TIRABASSE, 2004).

Além disso nas regiões urbanizadas e industrializadas, um maior número

de fontes, torna difícil particularizar a contribuição de cada uma delas na qualidade do ar e até mesmo identificar a origem de alguns poluentes ( ARYA, 1999).

A dispersão dos poluentes atmosféricos, e conseqüentemente, sua concentração são determinadas pelas condições climáticas, meteorológicas e micro meteorológicas as quais estão interligadas à topografia e ao uso e ocupação do solo, entre outros aspectos. A variação das condições atmosféricas é um dos fatores mais importantes na definição da qualidade do ar numa escala climática de tempo e espaço.

Um modelo de dispersão é uma descrição matemática dos processos de difusão turbulenta e transporte que ocorrem na atmosfera. A relação entre a emissão do poluente e a concentração medida em um ponto receptor específico é função das condições meteorológicas e da relação espacial e temporal entre a fonte e o receptor. Deste modo, os dados de entrada necessários para os modelos incluem os parâmetros meteorológicos, dados da fonte de emissão e informações amostradas em determinados pontos receptores (SCHULMAN et al., 1986).

A utilização de uma determinada classe de modelos de dispersão depende da complexidade do problema.

Modelo de dispersão é a descrição matemática dos processos de difusão turbulenta e transporte que ocorrem na atmosfera. A relação entre a emissão do poluente e a concentração medida em um ponto receptor específico é uma função das condições meteorológica e da relação espacial entre a fonte e o receptor.

Deste modo, os dados de entrada necessários para os modelos incluem os parâmetros meteorológicos, de fonte e de receptor (SCHULMANN &HANNA,1985).

Os modelos de dispersão atmosféricos aplicados para o cálculo da dispersão de um poluente, ensinam a conhecer os problemas mais complexos dos processos relacionados à difusão turbulenta e dos transportes turbulentos que acontecem na atmosfera, ou seja, de onde vem o poluente e para onde ele vai. Esses modelos são baseados em equações matemáticas e permitem conhecer como os termos destas equações agem na dispersão dos contaminantes

para a atmosfera. Ao parametrizarmos cada equação, pode-se ter uma visão de qual é a contribuição de cada termo para a solução de determinado problema. Assim, além da matemática desses modelos é necessário conhecer também a física da atmosfera onde ocorre tal dispersão (NEDEL,2003).

A seguir é relacionada uma breve descrição de alguns parâmetros utilizados para inicializar os modelos de dispersão:

A temperatura e a velocidade de saída dos gases. Nas chaminés menores a força ascendente é relativamente baixa e a temperatura de exaustão pode não superar a do ar ambiente. Em conseqüência, o maior efeito dessas fontes é sentido ao lado das mesmas. As emissões que provém de instalações industriais com fontes de alturas mais elevadas, possuem temperaturas mais altas e são, portanto induzidas a ascender mais rapidamente, com efeito, sendo sentido a distâncias maiores.

A altura das chaminés: o uso das chaminés elevadas contribui para uma dispersão dos poluentes sobre áreas mais intensas. Com aplicação de modelos matemáticos é necessário que se tenha um bom conhecimento das relações entre a intensidade da fonte, altura da chaminé e as concentrações dos contaminantes ao nível do solo. As chaminés de altura mais elevadas são muito usadas em plantas de geração de energia.

A topografia: suas características são importantes devido ao efeito que podem causar sobre a dispersão dos poluentes, principalmente em fontes pontuais (chaminés), em geral os pontos receptores discretos correspondem a localização dos pontos de monitoramento da qualidade do ar.

Nesse estudo foi utilizado o *California Puff Model* (CALPUFF) que é um modelo gaussiano não estacionário do tipo puff. O modelo simula os efeitos do tempo e da variação espacial das condições meteorológicas meteorológicas sobre o transporte, transformação e remoção de poluentes atmosféricos, além disso foi desenvolvido para simular a dispersão dos poluentes em longas distâncias.

Através do módulo meteorológico CALMET é possível ter boa representação dos efeitos atmosféricos de mesoescala. O CALPUFF vem sendo utilizado e recomendado por centros de pesquisas como o *Instituto per lo Studio dell'Inquinamento Atmosferico e l'Agrometeorologia* (ISIATA) e agências

ambientais, como a *U.S. EPA*.

O CALPUFF possui três principais componentes: o CALMET, modelo meteorológico de diagnóstico tridimensional; o CALPUFF, modelo de transporte e dispersão propriamente dito; e o CALPOST, pós-processamento dos resultados. Cada um destes programas possui interface gráfica própria com pré-processadores e ferramentas associados.

O sistema de modelagem CALPUFF atual, chamado CALPUFF View 6.0, possui as últimas atualizações aprovadas pela *U.S. EPA*. O CALPUFF View 6.0 possui também as versões dos modelos desenvolvidas pelo *Atmospheric Studies Group (ASG)*, grupo de pesquisa e consultoria de serviços ambientais e ciências físicas pertencente à *TRC Solutions*, uma subsidiária da *TR Companies, Inc.* Nesse estudo foram utilizados o CALPUFF em sua versão 6.42, o CALMET na versão 6.334 e o CALPOST versão 6.292, todas referentes ao ano de 2011.

**Organização do Sistema de Modelagem CALPUFF.** O sistema de modelagem CALPUFF atualmente possui como componentes principais o CALMET, CALPUFF e CALPOST. Além destes, existe grande quantidade de pré-processadores de séries de dados meteorológicos e geofísicos. Nesse caso, também é possível trabalhar com programas externos a sua interface.

**O modelo meteorológico CALMET.** O CALMET é classificado como modelo meteorológico diagnóstico que incorpora observações meteorológicas e/ou saídas de modelos meteorológicos prognósticos, para produzir, através de técnicas de análise objetiva, campos de velocidade, temperatura e outras variáveis necessárias para as simulações com o modelo CALPUFF.

O modelo meteorológico CALMET é composto por dois módulos principais: o diagnóstico do campo de vento e o micrometeorológico. O primeiro calcula os efeitos cinemáticos e de bloqueio do terreno, e o escoamento em encostas para gerar o campo de ventos em malha tridimensional. Também possui procedimento de minimização da divergência do campo de velocidades. Já o segundo é responsável pelo cálculo de parâmetros de camada limite sobre o continente e sobre o oceano, tais como classes de estabilidade, velocidade de fricção, comprimento de Monin-Obukhov, altura da camada de mistura, fluxo de calor sensível, entre outros.



As informações necessárias para sua inicialização são compostas por dados meteorológicos horários de superfície, dois perfis diários de dados de altitude e dados geofísicos, compostos por elevação do terreno e categorias de uso do solo.

Conforme já mencionado o CALMET trata os dados meteorológicos obtidos através das estações de superfície, bem como através do modelo de mesoescala WRF, e calcula para cada ponto de grade os dados micrometeorológicos, tais como: velocidade de atrito, comprimento de Monin Obukov, os fluxos superficiais, altura da camada convectiva, entre outros, necessários para a modelagem de dispersão.

Por fim, o CALPOST é o modelo de pós-processamento, o qual, produz os gráficos com isolinhas de concentrações e os relatórios das simulações, com opções para calcular o tempo médio das concentrações e fluxos de deposição.

## REFERÊNCIAS

ANEEL Atlas de Energia 2000 74p. disponível em:  
[http://< ww2.aneel.gov.br/aplicacoes/atlas/carvao\\_mineral/8\\_4.htm>](http://ww2.aneel.gov.br/aplicacoes/atlas/carvao_mineral/8_4.htm) Acesso em:  
18/10/2018.

Arya S.E. 1999 Air pollution meteorology and dispersion. Oxford University Press, New York.

BP Statistical Review of World Energy. 2018, disponível em:  
:<[http://www.bp.com/content/dam/bp/en/corporate/pdf/energy- economics/statistical- review/bp-stats-review-2018-full-report.pdf](http://www.bp.com/content/dam/bp/en/corporate/pdf/energy-economics/statistical-review/bp-stats-review-2018-full-report.pdf) > , acesso em: 24/08/2018

CEM/RS Conselho Estadual de Mineração - Estudos para o Estabelecimento de Política de Longo Prazo para a Produção e Uso do Carvão Mineral Nacional, Porto Alegre, 1988, pp. 21-25.

CONSELHO NACIONAL DE MEIO AMBIENTE. Resolução CONAMA nº 3 de 28 de junho de 1990. Diário Oficial da República Federativa do Brasil, Brasília, 22 de agosto de 1990.

CRM-Companhia Rio Grandense de Mineração, Desenvolvimento do carvão e do gás do carvão. 2010 pdf 74p., disponível em: < [http://www minasenergia.rs.gov.br](http://www.minasenergia.rs.gov.br)>Acesso em 24/09/2018.

Degrazia, F. C.; Campos Velho, H. F.; Cintra, R.S.C.; Barbosa, J. P. S. & Moraes, M. R. Sistema de Previsão da Qualidade do Ar para o Vale do Paraíba. Ciência e Natura, v. 111, p. 293-296, Brasil, 2007.

Ferraro L.V., Hazenack H. 2000. Clima. In: Vassiliou, M. & Dick, T (eds.) Carvão e Meio Ambiente. Centro de Ecologia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre. 1008 p p.:23-44.

Gupta R.; Xu Z. &Vejahati F. 2010 Trace elements in coal: Association with coal and minerals and their behavior during coal utilization- A review. *Fuel* Volume 89 Issue 4 pages 904-911.

IBGE INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Cidades. Disponível em <http://cidades.ibge.gov.br>. Acesso: jan/2016

IEA – Clean Coal Centre – Setembro – 2012 Trace Element emissions from coal Londres United Kingdom disponível em <http://www.iea-coal.org> acesso em: 24dezembro 2017.

JAPAN INTERNATIONAL COOPERATION AGENCY (JICA), 1997. The Study on evaluation of environmental quality in regions under influence of coal steam power plants in Federal Republic of Brazil, Final Report, Tokyo, Japan.

Kalkreuth,W; Holz,M;Machado,G; Mexias,A; Silva,MB; Willet,J;Finkelman,R & Burger,H. 2006 Petrology and geochemistry of Permian coals from the Paraná Basin: I. Santa Terezinha, Leão-Butiá and Candiotá coalfields Rio Grande do Sul, Brazil *International*

*Journal of CoalGeology*, 68 79-116

Klein, D.H.;Andren, A.W.; Carter, J.A.; Emery, J.F.; Feldman,C. Fulkerson,W.;Lyon W.S.; Ogle, J.C. & Talmi, Y. 1975 Pathways of thirty-seven trace elements through coal-fired power plant. *Environmental Science and Technology*, v.9,n.10, p.973-979

Kolker A.; Huggins F.E. & Palmer C.A. 2000 Mode of occurrence of arsenic in four US coals. *Fuel Process Technol* 2000 63(2–3):167–78.

Mallmann, E., Zwonok,O., 2011.Panorama dos Resíduos da Combustão do Carvão Mineral e Características Químicas e Físicas das Cinzas de Fundo das Usinas do Rio Grande do Sul. In: III CONGRESSO BRASILEIRO DE CARVÃO MINERAL Gramado,2011, disponível em:

<<http://www.ufrgs.br/rede-carvao>> acesso em 10/08/2018.

Moreira,D. ; Tirabase,T. 2004 Modelo matemático de dispersão de poluentes na atmosfera: Instrumento técnico para a gestão ambiental. *Ambiente e Sociedade* Vol. III nº2 Julho/Dez. 2004 15p.

Müller, A.A. 1987 Perfil Analítico do Carvão. DNPM - Porto Alegre. Boletim Departamento Nacional da Produção Mineral 2ª ed.1987, 140p.

Nedel, A. S.; Alves, R. de C. M.. Aplicação de um modelo de dispersão atmosférico na região de Candiota-RS e sua relação com as condições meteorológicas. Dissertação de mestrado pelo Programa de Pós-Graduação em Sensoriamento Remoto da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2003.

Pires, M.; Haidi, F.& Teixeira, E. C. 2002. Distribuição geoquímica de elementos traço em carvão, Capítulo 12, In: Meio Ambiente e Carvão: Impactos da exploração e utilização. Cadernos de Planejamento e Gestão Ambiental, FEPAM, Porto Alegre. p. 237-252.

Querol X, Fernández-Turiel J, López-Soler A. 2000 Trace elements in coal and their behaviour during combustion in a large power station. *Fuel* 995;74(3):331–43.

Schulman,L.L& Hanna, S.R. 1985 Evaluation of downwash modifications to the industrial. *Journal of the air pollution control association* Volume 36 issue 3 page 258-264.

Sampaio, A.S.; Portezani,C.H. 2017 Modelagem da dispersão de poluentes atmosféricos através da dinâmica dos fluídos computacionais 12p. In: 8ºENEPE-UFGD 5ºEPEX-UEMS.

Santini, J. 2011 -Filtro de mangas para o controle de emissões atmosféricas de material particulado gerados no beneficiamento de mármore e granitos. Universidade de Passo Fundo, RS 73p.

Scire, J. S., Francoise, R. R., Mark, E. F. & Yamartino, R. J. A User's Guide for the CALMET Meteorological Model (Version 5), Earth Tech, Inc, 2000. p. 1- 20.

SME- Secretaria Minas e Energia – RS 2016 Plano Energético 2016-2015 disponível em

<<http://www.minasenergia.rs.gov.br/plano-energetico>> acesso em: 21/03/2018.

Sundstron, M. G. 2012, Caracterização e avaliação das cinzas da combustão de carvão mineral geradas na região do baixo Jacuí - RS 2012. 121 f. Dissertação mestrado em Avaliação de impactos ambientais em mineração) – Centro Universitário La Salle, Canoas.

WHO Air Quality Guidelines for particulate matter, ozone, nitrogen dioxide and sulfur dioxide global update 2005 disponível: [http:// www.euro.who.int/document/E87950.pdf](http://www.euro.who.int/document/E87950.pdf) acesso em out.2015.

Xu M.; Yan R. & Zheng C. Status of trace element emission in a coal combustion process: a review. *Fuel Process Technol* 2004; Volume 85: Issue 2-3 Pages 215–237.

## **2. RESULTADOS APRESENTADOS NA FORMA DE ARTIGOS CIENTÍFICOS**

2.1 ARTIGO 1 - Avaliação do Material Particulado no Ar atmosférico em Área de Influência de Usina Termelétrica considerando as diferentes tecnologias adotadas no controle de efluentes atmosféricos.

Submetido para a Revista Geochimica Brasilienses

**Publicado na Edição:** Geochimica Brasiliensis 30(2): 184-201, 2016

DOI:10.21715/GB2358-2812.2016302184

# Avaliação do material particulado no ar atmosférico em área de influência de usina termelétrica considerando as diferentes tecnologias adotadas no controle de efluentes atmosféricos

## Resumo

O objetivo deste trabalho foi verificar a qualidade do ar no município de Charqueadas, localizado na Região Metropolitana de Porto Alegre, através dos dados de rotina de duas estações de monitoramento ambiental operadas pela Tractebel Energia, uma na cidade de Charqueadas e outra no município de Triunfo. Os resultados de partículas totais em suspensão (PTS) e partículas inaláveis (PM10) foram comparados com a Resolução CONAMA 03/1990 e a partir de amostras de material particulado total, foram realizadas análises de espectroscopia atômica e espectroscopia dispersiva de raio -X para identificar os elementos presentes no ar ambiente e sua relação com as principais fontes de emissão da região. As análises mostraram que a qualidade do ar observada na Estação localizada em Triunfo é melhor do que a observada na Estação de Charqueadas. Os dados obtidos indicam que há um reflexo positivo na qualidade do ar relacionado a implantação das tecnologias que reduziram as emissões de poluentes para a atmosfera. A análise das amostras revelou a presença de partículas de origem natural e antropogênica, entre os elementos analisados, os de maior concentração foram Fe e Mn nos dois locais avaliados, embora outros elementos químicos característicos de áreas urbanas industriais também tenham sido identificados. Com relação a caracterização morfológica das partículas de PTS as imagens obtidas mostram a presença de partículas heterogêneas com diferentes formas e tamanhos, os elementos predominantes foram o silício e o alumínio, no caso do silício está presente na composição dos filtros de fibra de vidro utilizados na amostragem.

Palavras-chave: Poluição do Ar, material particulado, morfologia, termelétrica, carvão

## Abstract

The aim of this study was to assess the air quality in the city of Charqueadas, located in the metropolitan area of Porto Alegre, through routine data from two environmental monitoring stations operated by Tractebel Energia, one in the city of Charqueadas and another in the city of Triunfo. The results of Total suspended particulate matter (TSP) and respirable particulate matter (PM10) were compared with CONAMA Resolution 03/1990 and from total particulate matter samples, analyzes were carried out from atomic spectroscopy and dispersive spectroscopy -X-ray to identify the elements present in ambient air and its relation to the main sources of emissions in the region. The analysis showed that the air quality observed in located in Triunfo station is better than that observed in Charqueadas Station. The data indicate that there is a positive impact on air quality related to deployment of technologies that have reduced emissions of pollutants into the atmosphere. The analysis of the samples revealed the presence of particles from natural and anthropogenic sources, among the analyzed elements, Fe and Mn was

Rita Clarice Machado Tissot<sup>1,3\*</sup> Marçal  
José Rodrigues Pires<sup>2</sup> Rita de Cássia  
Marques Alves<sup>1</sup> Renato S. Barbosa<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Universidade Federal do Rio Grande do Sul Instituto de Geociências

<sup>2</sup>Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul  
Faculdade de Química

<sup>3</sup>ENGIE Brasil Energia S.A.  
Usina Termelétrica do Rio Grande do Sul Endereço Rua Geólogo White s/nº Centro CEP 96745 000 – Charqueadas – RS

ritactissot@gmail.com mpires@pu.rs.br  
rita.cma@terra.com.br  
renato.barbosa@engie.com

\* Autora para correspondência

found higher concentration at to two sites evaluated, although other characteristic of industrial chemicals urban areas have also been identified. Regarding morphological characterization of PTS particles obtained images showed the presence of heterogeneous particles with different shapes and sizes, the predominant elements are silicon and aluminum, if the silicon is present in the composition of the glass fiber filters used in sampling.

Keywords: Air Pollution, particulate material, morphology, thermal, coal power plant

## 1. INTRODUÇÃO

Os grandes centros urbanos enfrentam vários problemas relacionados à poluição atmosférica. Os efeitos na saúde ocasionados pela alta concentração dos poluentes têm sido objeto de alerta da Organização Mundial da Saúde (WHO, 2015) que recentemente emitiu um relatório mundial sobre a qualidade do ar urbano com dados preocupantes em especial das partículas inaláveis.

As partículas na atmosfera podem ter origem antropogênica como as emitidas em processos industriais, queima de combustíveis fósseis, queima de biomassa entre outros, enquanto que as partículas de origem naturais estão relacionadas a uma variedade de processos que incluem as emissões vulcânicas, o transporte pelo vento de partículas oriundas da crosta terrestre e dos oceanos. As fontes de emissão, as reações atmosféricas e as condições meteorológicas, são fatores determinantes no tamanho e composição do material particulado. Os compostos que compõem as partículas em suspensão podem ser de origem orgânica (carbono orgânico e elementar, compostos voláteis e semivoláteis absorvidos inorgânica (sulfatos, nitratos, amônio, cloretos e elementos traço) e biológica (bactérias, esporos e polens) (Seinfeld e Pandis, 2006).

A princípio, os estudos de material particulado basearam-se nas concentrações de particulados totais em suspensão (PTS). Nas últimas décadas, as agências de proteção ambiental de vários países, incluindo Canadá e Estados Unidos, adotaram a utilização do monitoramento do material particulado MP10, cujo resultado é a concentração de todas as partículas com diâmetros menores do que 10 µm, que são as partículas inaláveis. Posteriormente, iniciou o monitoramento para o MP 2,5 que inclui todas as partículas finas, respiráveis. Essas partículas podem penetrar mais profundamente no sistema respiratório e possuem um potencial maior de danos à saúde.

Mais recentemente, um novo termo, ultrafino, passou a ser utilizado para indicar o monitoramento de partículas menores do que 0,1 µm; a maioria das partículas ultrafinas são de origem antropogênica. (Baird, 2011)

A Região Metropolitana de Porto Alegre (RMPA), área onde está inserido o município de Charqueadas, é a área de maior densidade populacional e industrial do Estado do Rio Grande do Sul, razão pela qual é mais afetada pela concentração de poluentes atmosféricos. No centro do município de Charqueadas, distante 50 km de Porto Alegre, situa-se a Usina Termelétrica de Charqueadas (UTCH), movida a carvão fóssil e em operação comercial desde o ano de 1962. Entre os poluentes lançados por uma central térmica a carvão, destacam-se, pelo impacto local ou regional, o material particulado, os óxidos de nitrogênio (NOx) e os óxidos de enxofre (SOx). (JICA, 1997; Pires et al., 2002). A

combustão do carvão é também uma fonte potencial de elementos traço para a atmosfera incluindo metais tóxicos. A preocupação sobre os efeitos dos poluentes traço no ambiente levou à introdução de normas de emissão para alguns destes elementos (IEA, 2012). Na tabela 1 são mostrados os elementos traço considerados de interesse ambiental segundo o *US National Research Council* (IEA, 2012) com base nos efeitos adversos para a saúde.

Dispositivos de controle de particulados convencionais, tais como precipitadores ou filtros de manga são eficazes na captura geral dos elementos na corrente do particulado como As, Cd, Cr, Ni e Pb. Uma combinação de tecnologia de controle de partículas e FGD (*Flue Gas Desulfurization*) pode auxiliar na captura de outros elementos menores. Contudo, alguns elementos incluindo Hg, Cl, Se, B não são consistentemente capturados pelo controle de poluentes atmosféricos convencionais existentes.

**Tabela: 1**– Classificação dos elementos traço e a preocupação ambiental em carvão.

Classificação	Elemento
Grande preocupação	As, B, Cd, Pb, Hg, Mo e Se.
Preocupação Moderada	Cr, V, Cu, Zn, Ni e F.
Menor preocupação	Ba, Sr, Na, Mn, Co, Sb, Li, Cl, Br e Ge.
Elementos de preocupação, mas com concentrações insignificantes	Be, Ta, Ag e Te.
Elementos radioativos	U e Th

Este trabalho tem como objetivo avaliar os resultados da composição química e da morfologia do PTS também monitoramento de longo prazo de PTS (1995 a 2015) e foi realizada. Os resultados são comparados com as PM10 (2010-2015), e a influência das melhorias no legislações vigentes e com elementos químicos controle das emissões atmosféricas da usina termelétrica específicos que indiquem a utilização do carvão em UTCH, na qualidade do ar na cidade de Charqueadas. A processo de queima e possam ser utilizados como identificação da traçador dessa utilização em análise de qualidade do ar.

## 2. AREA DE ESTUDO

O município de Charqueadas possui uma área de territorial de 216,51 km<sup>2</sup> e uma população de cerca de 36.000 habitantes (IBGE, 2013). Situa-se na configuração topográfica da Depressão Central do estado do Rio Grande do Sul apresentando uma altitude média de 20 metros ao nível do mar. A cidade de Charqueadas faz parte da microrregião carbonífera situada na porção oriental do Baixo Jacuí. O clima da bacia do Baixo Jacuí é do tipo mesotérmico, conforme a classificação de Köppen, caracterizada por temperaturas compreendidas entre -3 e 18°C no mês mais frio e superior a 22°C no mês mais quente, quanto a precipitação possui totais anuais superiores a 1.200 mm bem distribuídos ao longo do ano. Os ventos predominantes são de Sudeste, com maior intensidade nos meses de primavera e a umidade relativa do ar é alta o ano inteiro, sempre maior que 70%, em função do alto teor de umidade das massas atuantes (Ferraro *et al.* 2000) A economia do município de Charqueadas onde este estudo foi realizado, é predominantemente industrial. Além da termelétrica (TRACTEBEL ENERGIA) e da siderúrgica (GERDAU) que impulsionaram o crescimento industrial de Charqueadas, outras empresas fazem parte do parque industrial da cidade como COPELMI - que possui um entreposto de armazenamento e manuseio de carvão, GKN - fabricante de juntas homocinéticas, METASA - fabricação e

montagem no ramo de estruturas metálicas e outras indústrias de menor porte.

O município recebeu o projeto, de origem alemã, da Usina termelétrica na década de 1950. Os filtros originais para a captação das cinzas resultantes da combustão eram mecânicos (ciclones), com capacidade para captar entre 40 e 60% das cinzas leves produzidas. A usina de Charqueadas funcionou com esse controle pouco eficiente, desde a sua partida em 1962 até dezembro 1987 (JICA, 1997). Em 1974 entrou em operação a Siderúrgica Aços Finos Piratini, impactando ainda mais a qualidade do ar devido as emissões lançadas sem controle para a atmosfera. As melhorias no controle de emissão de poluentes na termelétrica iniciaram no ano de 1987, quando foram instalados na Usina Termelétrica os precipitadores eletrostáticos com eficiência de 98,99%, essa mudança trouxe reflexos positivos para a melhoria da qualidade do ar na região. A partir de 2009 foram instalados os filtros de mangas, o que aumentou a eficiência do despoeiramento para 99,9% e instalado o lavador de gases FGD (*Flue Gas Desulfurization*) com eficiência de 90% na remoção dos gases de enxofre. A instalação desses equipamentos foi para atingir os seguintes limites de emissão de poluentes corrigidos a 6% de oxigênio: SO<sub>2</sub> 400 mg/Nm<sup>3</sup>, NOx 550 mg/Nm<sup>3</sup> e Material particulado 80 mg/Nm<sup>3</sup>. Com a nova tecnologia a redução de poluentes na fonte de



emissão foi da ordem de 10 vezes na emissão de dióxido de enxofre e em torno de 4 vezes na emissão de material particulado. Outro fato importante para a qualidade do ar na região é a

### 3. MATERIAIS E MÉTODOS

Os dados de monitoramento utilizados neste estudo foram obtidos das estações de monitoramento de qualidade do ar operadas pela Tractebel Energia. Os pontos de coleta estão localizados em dois municípios distintos, uma das estações (**AT** - Arranca Toco) encontra-se instalada a cerca de 700 m à jusante do vento predominante (SE), em relação à usina e próximo ao centro urbano de

#### 3.1. MÉTODOS DE AMOSTRAGEM

As amostras de TSP foram coletadas conforme os procedimentos previstos na norma ABNT – NBR N° 9547/1998 através de amostrador de ar de grandes volumes denominado Hi-vol, fabricado pela Sierra Andersen. Foram avaliadas as amostras coletadas na Estação Arranca Toco e DEPREC considerando dados obtidos na série temporal de 20 anos no período de 1996 a 2015. A estatística descritiva dessa série de dados foi utilizada como forma de fazer uma avaliação exploratória desses dados.

Para avaliar a composição química detalhada, os filtros de TSP disponibilizados foram os filtros amostrados a partir de 2009 até 2015. Foram analisados 22 filtros da Estação Arranca Toco e 18 da Estação DEPREC. Os elementos escolhidos para análise basearam-se na classificação do NRC-US (Tabela 1): Li, Be, V, Cr, Mn, Fe, Ni, Co, Cu, Se, Mo, Ag, Cd, Ti, Pb, U. A concentração de TSP obtida em cada amostragem, a geração em MW e os

#### 3.2. TÉCNICAS ANALÍTICAS

Após selecionados os filtros foram analisados por ICP-MS (Agilent modelo 7700). Para uma mesma amostra, o filtro foi cortado em oitavos, e 2/8 foram pesados (0,35 g cada) e transferidos para duas bombas de teflon previamente descontaminadas. Foram adicionados 9 mL de ácido nítrico 65%, 2 mL de peróxido de hidrogênio 30% e 3 mL de ácido fluorídrico 40%. A mistura foi então deixada em repouso durante 30 minutos com a tampa semiaberta. Após esse período, as

entrada em operação do sistema de despoeiramento da Siderúrgica GERDAU (antiga Aços Finos Piratini), esse sistema entrou em operação no ano de 2000.

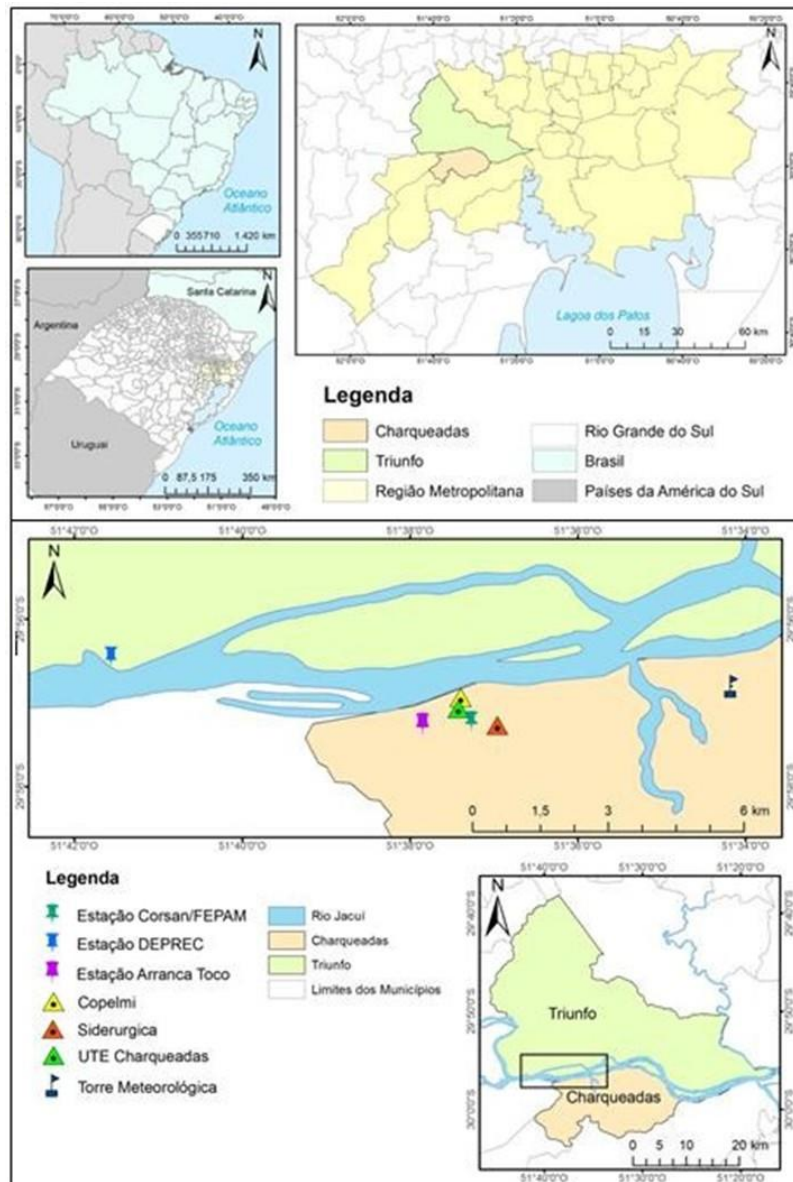
Charqueadas, enquanto que a outra estação, denominada (**DP** – DEPREC), instalada a cerca de 7 km à jusante do vento predominante (SE) em relação à usina termelétrica, em uma pequena vila no município de Triunfo com predominância de área verde. (Estações de monitoramento e localização da usina conforme Figura 1).

dados meteorológicos com as variáveis de Temperatura (°C), Pressão Atmosférica (mmHg), precipitação (mm), Velocidade do Vento ( $m.s^{-1}$ ) e direção do vento são apresentados nas Tabelas S1 e S2 (Anexo, Material Suplementar). Os critérios para a seleção dos filtros PTS para a análise de metais foram baseados nas máximas concentrações de PTS, em diferentes períodos caracterizando as mudanças das tecnologias de controle utilizadas. Para a amostragem de Partículas inaláveis (PM 10) da Estação Arranca é utilizado o equipamento BAM-1020 que mede e armazena automaticamente as concentrações de partículas em suspensão, utilizando o método de atenuação de raios beta. É um método designado pela EPA dos EUA como método equivalente Federal para monitoramento de PM10. O número designado para o BAM-1020 é EQPM-0798-122. (EPA, 2016).

bombas foram fechadas e colocadas para aquecer a uma temperatura de 150° C por um período de 6 horas em bloco digestor. Após esse período, as amostras foram resfriadas e então adicionados 4 mL de ácido bórico 20%, para eliminar excesso de ácido fluorídrico que possa ter ficado na mistura. Depois dessa adição, as bombas retornaram para o bloco e foram aquecidas por mais 2 horas a 150°C. A seguir, as amostras foram resfriadas, transferidas quantitativamente para falcons

previamente descontaminados e volume completado para 50 mL com água deionizada (MiliQ, Milipore). Antes da leitura por ICP – MS, as amostras foram centrifugadas e diluídas com ácido nítrico 5%. Juntamente com as amostras, foi realizada a abertura de 1/8 de filtros brancos para verificação da contaminação de metais provenientes do material de fabricação do filtro (fibra de vidro). A identificação da composição do material particulado através da análise da

morfologia foi realizada por MEV-EDS (Philips e modelo XL 30 Foram submetidos à análise morfológica 6 filtros da Estação Arranca Toco e 5 filtros da Estação DEPREC. A partir das imagens obtidas, foi realizada uma comparação das imagens das partículas encontradas nesses filtros com as imagens de trabalhos publicados relativos a caracterização morfológica de cinzas leves e particulados pesquisados em áreas com características industriais



**Figura 1** Mapa do Brasil, do Rio Grande do Sul, região Metropolitana de Porto Alegre, principais fontes emissoras no município de Charqueadas e Estações de Monitoramento da Qualidade do Ar.

## 4.RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1. PARTÍCULAS TOTAIS EM SUSPENSÃO (TSP)

Na Figura 2 são mostrados os resultados da média geométrica anual de PTS, obtidos nas duas estações de amostragem no período de 1996 a 2015, AT (n = 1.440) e DP (n = 792) bem como os padrões de qualidade do ar da legislação brasileira e a geração em MW da Usina Termelétrica. Observa-se nos resultados do monitoramento que houve ultrapassagens do padrão secundário (60

$\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) de qualidade do ar na média geométrica anual nos anos de 1996 e 1997 na estação AT, enquanto que, na estação DP a média geométrica anual atendeu o padrão de qualidade nos 20 anos avaliados.

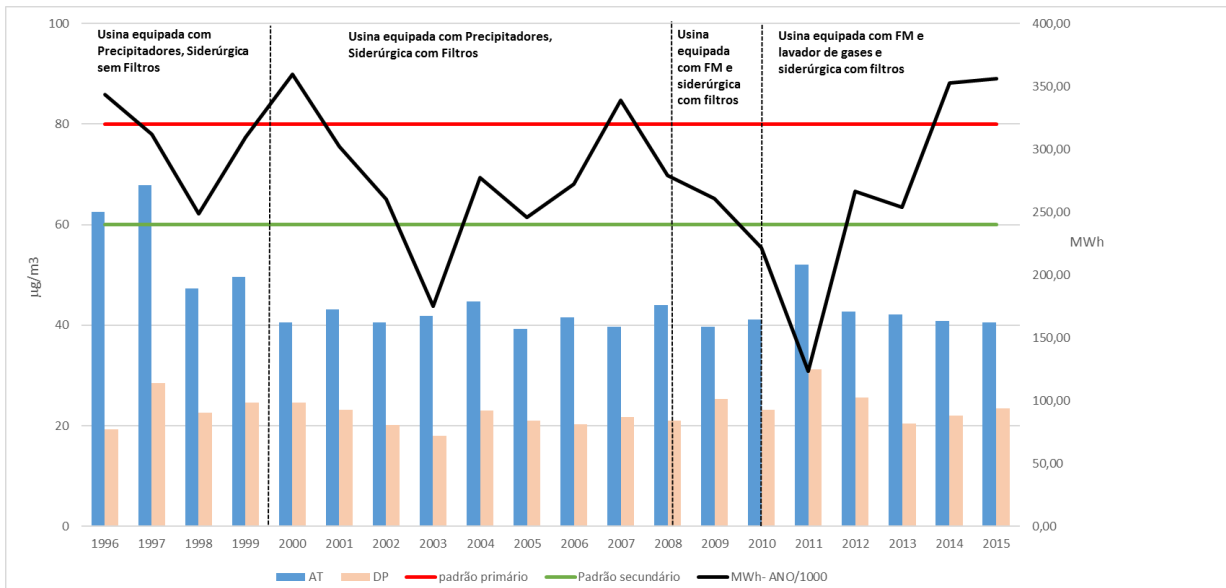
Entretanto, em alguns anos, como no ano de 2011, a média anual de TSP voltou a subir mesmo após a implantação das novas tecnologias. Um dos fatores que contribuíram para isso foram as cinzas provenientes da erupção do vulcão chileno Puyehue Córdoniva Caulle cujas cinzas finas atingiram Porto Alegre e região metropolitana nos meses de junho e outubro de 2011. (CARDOSO et al 2013; FEPAM, 2014). Neste mesmo ano, a termelétrica apresentou a menor geração de energia dentre todos os anos avaliados, consequentemente a emissão foi inferior. É possível que, além do vulcão, outros fatores e fontes, além da termelétrica, tenham contribuído para o resultado de material particulado encontrado. O maior valor de geração termelétrica no período analisado foi nos anos de 2000, 2014 e 2015, não sendo estes os anos em que a média da concentração das partículas totais em suspensão no ar apresentou as maiores concentrações. Cabe destacar que mesmo quando se avalia os resultados das médias mensais de concentração de PTS e de geração de energia (Fig. S1 a S4, Mat. Suplementar), não se observa correlações significativas entre esses parâmetros. Esses dados sugerem que os fatores climáticos e a presença de outras fontes emissores de PTS devem ter influência na qualidade do ar da região em relação a esse parâmetro.

O resultado das análises estatísticas da concentração de Material particulado total em suspensão nas Estações Arranca Toco (AT) e DEPREC (DP) para os 20 anos avaliados são apresentados nas Tabela S3 (Material Suplementar). A magnitude do desvio padrão obtido ano a ano indicam que os dados da

estação Arranca Toco tem uma maior variabilidade das medições em relação à média anual e não varia de acordo com o tamanho da amostra. Por outro lado, o erro padrão da média da estimativa do desvio padrão, diminui com o aumento da amostra, refletindo o aumento da precisão da estimativa, quando há um maior número de amostragens. Os resultados da curtose encontrados para o conjunto de dados mostram na maioria dos anos avaliados uma curva de distribuição de frequência leptocúrtica, onde os dados estão fortemente em torno da moda.

Entretanto, os anos 1997, 1999, 2006 e 2008 para a Estação DEPREC e 2005 para as duas estações, apresentaram curva platicúrtica, quando os dados estão fracamente em torno da moda. Quanto a assimetria dos dados os resultados de ambas estações não apresentaram resultados com distribuição simétrica.

Para comparação dos resultados estatísticos entre as duas estações avaliadas, foi realizado teste de hipótese utilizando uma distribuição t de *Student* (não apresentado). Os testes foram realizados comparando as duas estações (AT e DP) ano a ano. A construção do teste de hipótese é feita a partir da seleção da hipótese alternativa (H1) e da hipótese de Nulidade (H0). A hipótese alternativa (H1) é a afirmação daquilo que queremos comprovar. Sendo assim, no caso H1, seria: existe diferença significativa entre a média da concentração de particulados nas duas estações de monitoramento de qualidade do ar. A hipótese de nulidade H0 é a negação daquilo que queremos comprovar. Sendo assim, nesse caso H0 seria: não existe diferença significativa entre a média da concentração de particulados das duas estações. O nível de significância do teste é definido como a probabilidade de erro do referido teste. Foi utilizado um nível de significância de 5%. Então, para a comparação das duas médias, se o nível p calculado for menor do que 5%, tem-se que o valor encontrado está dentro da zona de rejeição de H0 ou seja, aceita-se H1, indicando que existe diferença significativa entre as médias avaliadas. Os resultados desse teste indicaram que há diferença significativa das médias das duas estações para os resultados dos 20 anos avaliados.



**Figura 2** Concentrações médias geométricas anuais de TSP nas estações Arranca Toco e DEPREC e a geração anual de energia pela Termochar em MWh. Estão indicados os valores dos padrões primários e secundários de qualidade do ar para PTS (CONAMA 003/1990) e o controle nas principais fontes de emissão da região.

Com relação a interferência do regime de chuvas na qualidade do ar, estudos anteriores indicam que não há uma variação sazonal significativa na precipitação pluviométrica na cidade de Charqueadas. Ferraro e Hasenack (2000) realizaram uma análise climática na cidade de Charqueadas através de postos pluviométricos instalados com informações continuadas no período de 1985 a 1992. O resultado dessa avaliação mostrou que o período mais chuvoso é na primavera (167 mm) seguido pelo inverno (123 mm). As estações de verão e outono não apresentaram diferenças significativas no volume pluviométrico com valores de 115 e 112 mm, respectivamente.

Há registro de dados de pluviometria, na estação meteorológica instalada pela empresa na região (Figura1), somente a partir de 2004. Não houve nesse período uma regularidade na coleta de informações dos dados de chuva nessa estação meteorológica. Em muitos meses não há nenhuma informação desse parâmetro, prejudicando uma avaliação sobre a influência da chuva na redução do material particulado medido nas estações. Por outro lado, os dados corroboram os estudos realizados anteriormente, pois indicam que os maiores volumes de chuva ocorrem na estação da primavera, nos meses de outubro, novembro e dezembro (Figuras S1 a S4, Material Suplementar - Anexo).

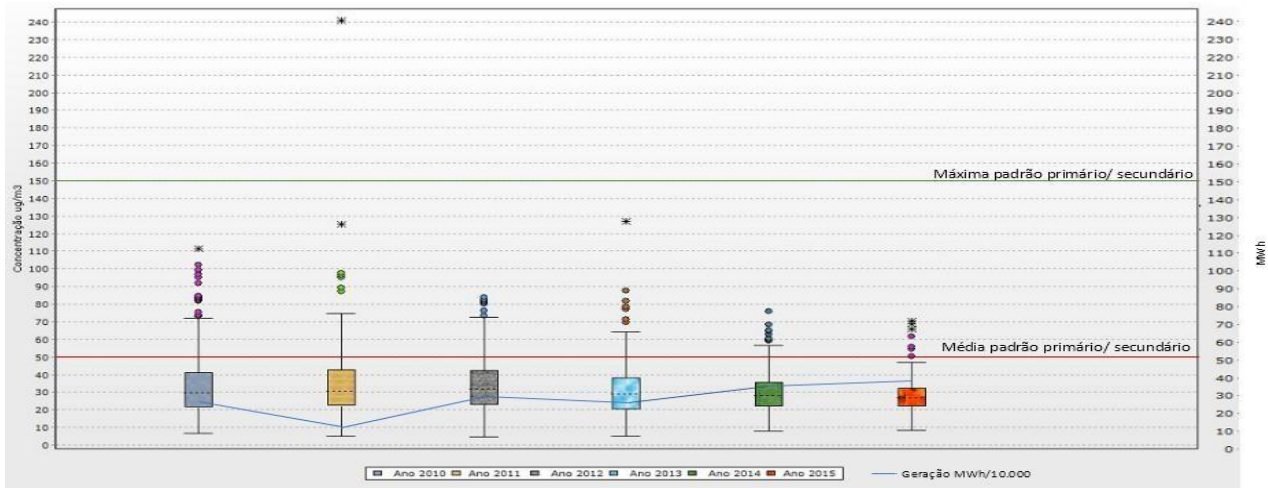
#### 4.2. PARTICULADO INALÁVEL (PM 10)

A avaliação das partículas inaláveis foi realizada com dados obtidos na Estação Arranca Toco de 2010 a 2015. Para apresentação dos dados foi utilizado diagrama box plot (figura 3). A média aritmética dos dados obtidos nesta estação mostra que os dados de PM10 obtidos estão dentro dos padrões de qualidade requeridos (CONAMA 03/1990). O valor permitido é de 50 µg/m³ na média aritmética anual para padrão primário e secundário, enquanto que o máximo anual permitido para esse poluente é de 150 µg/ m³ em um tempo de amostragem de 24 h, valor ultrapassado no mês de outubro no ano de 2011 (240 µg/ m³, *outlier*), na ocasião da

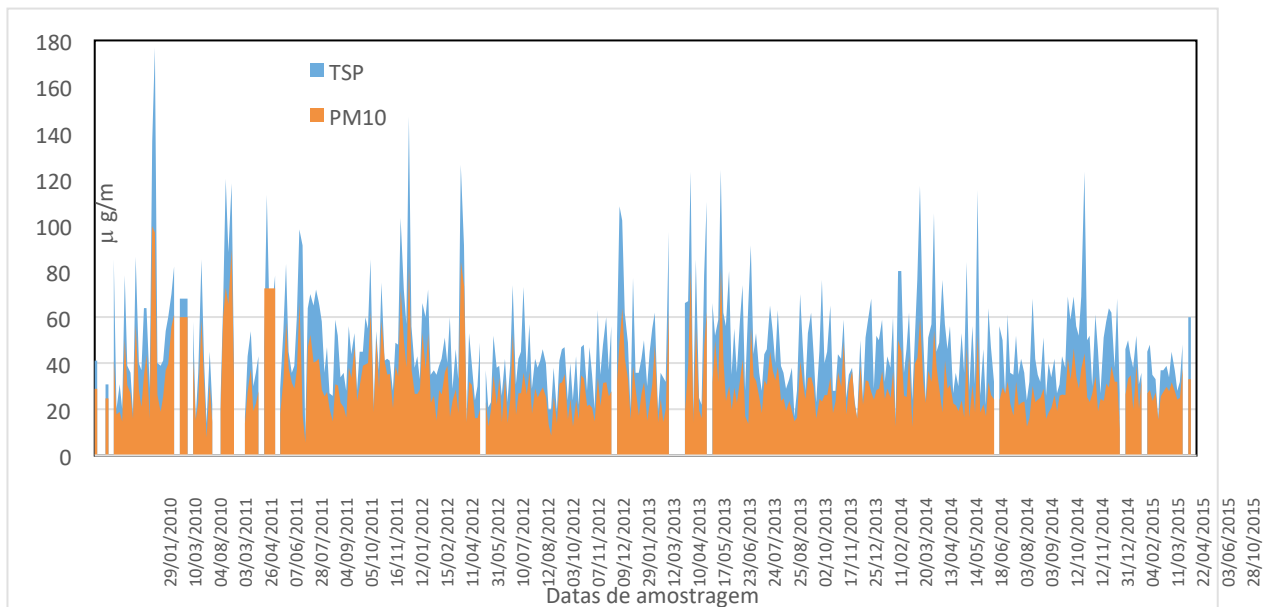
chegada das cinzas do vulcão Chileno na RMPA. Comparando 404 amostragens de PM10 e TSP realizadas no período de 2010 a 2015, na Estação Arranca Toco, observa-se que as partículas PM 10 representam em média 66% da concentração obtida nas amostragens de particulados totais. O gráfico da figura 4 tem o objetivo de mostrar essa proporção entre PM10 e PTS para o período avaliado. Em relação a eventual influência da pluviometria nas concentrações de PM10, no material suplementar apresentamos na figura S5 o gráfico com os dados mensais de PM10 e volume de chuva de 2010 a 2015. Embora esse

período tenha uma maior representatividade de dados de chuva do que nos anos anteriores, não há dados suficientes de chuva do período em estudo para uma avaliação mais segura da influência da chuva na qualidade do ar para o parâmetro PM10. Na média mensal, os

maiores valores de PM10 são aqueles que ficaram acima de  $45 \mu\text{g}/\text{m}^3$  e ocorreram nos meses de agosto de 2010 e agosto de 2012, mês da estação de inverno onde tipicamente ocorre a inversão térmica.



**Figura 3** Concentrações média e máxima anual do PM10 (Estação AT), padrão máximo e média anual (CONAMA 03/90) e geração de energia da termelétrica pela UTCH no período.



**Figura 4** Concentrações de TSP e PM10 (n = 440) dados diários (24 h) na Estação AT, no período de 2010 a 2015.

### 4.3. CONCENTRAÇÃO DOS ELEMENTOS TRAÇO NO TSP

Para a avaliação dos metais foram analisadas 40 amostras de TSP das estações, sendo 25 amostras da Estação Arranca Toco e

15 da Estação DEPREC contemplando respectivamente os períodos de 2008 a 2015 e 2009 a 2015. A estatística descritiva foi utilizada para uma avaliação inicial das informações numéricas obtidas das

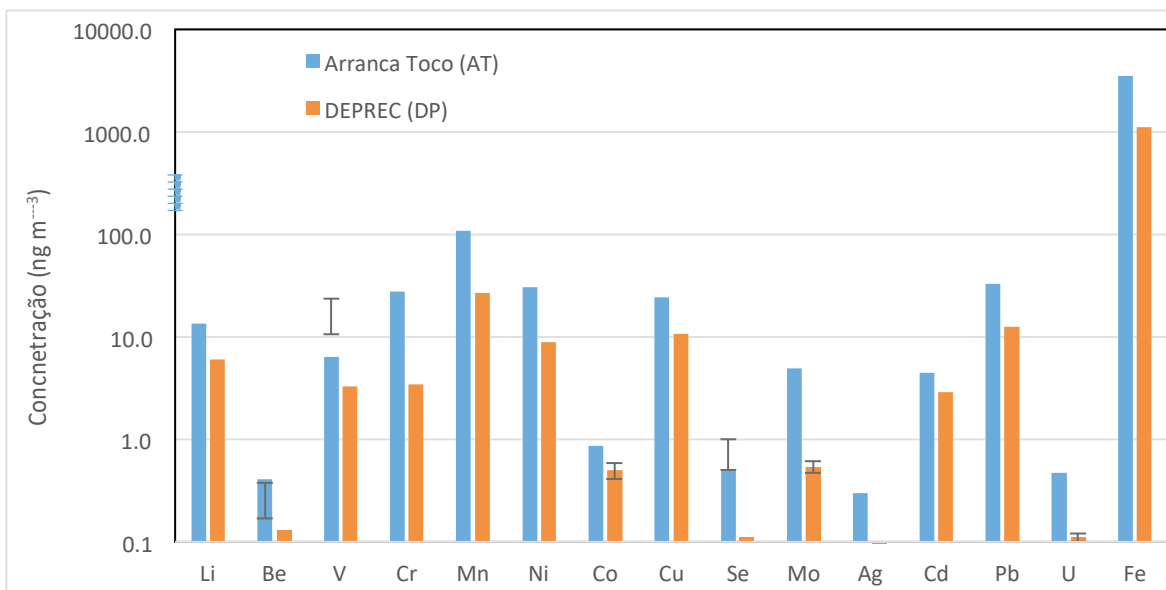
concentrações dos elementos químicos nos filtros analisados nas estações Arranca Toco (Tabela S4, Mat. Supl.) e DEPREC (Tabela S5).

A comparação dos dados das duas estações (figura 5) demonstra que na média das concentrações de todos os elementos analisados. Para que todos os elementos

químicos pudessem ser mostrados no mesmo gráfico foi adotada a escala logarítmica. Os resultados obtidos na estação Arranca Toco são maiores do que na estação DEPREC. Os elementos de maior concentração em ambas as estações são o ferro seguido do manganês, que apesar da alta concentração é de menor preocupação em relação à saúde humana. Essas maiores concentrações podem estar relacionadas a sua não vaporização durante a combustão do carvão, permanecendo nas cinzas. Os óxidos de ferro, representam em torno de 3% da composição da cinza leve produzida na termelétrica (Rohde et.al). Os

elementos Be, Co e Se, foram os que apresentaram os menores valores, todos com concentrações inferiores a 1 ng/m<sup>3</sup>.

As concentrações apresentaram grande variação nas amostras analisadas. Na amostragem do dia 08/08/2012 o teor de ferro apresentou a maior concentração (7.728 ng/m<sup>3</sup>) no material particulado da Estação Arranca Toco dentre todas as amostras analisadas. Nesse dia a termelétrica estava com uma das menores geração e conseqüentemente um baixo consumo de carvão, situação também verificada nos dias que antecederam essa amostragem.



**Figura 5** Média e desvio padrão das concentrações dos elementos menores analisado no material particulado (PTS) coletado nas Estação Arranca Toco (AT) e DEPREC (DP).

Na legislação Federal não há limites estabelecidos para elementos traço no material particulado atmosférico. A legislação do estado de São Paulo prevê padrão, na média aritmética anual, para o elemento chumbo, de 0,5 µg/m<sup>3</sup> (500 ng/m<sup>3</sup>) enquanto que a USA EPA definiu como padrão para o chumbo o limite de 150 ng/m<sup>3</sup> na média móvel trimestral. A comunidade Europeia estabelece valores anuais de referência de qualidade do ar para a concentração dos elementos Arsênio (6 ng/m<sup>3</sup>), Cádmio (5 ng/m<sup>3</sup>), Níquel (20 ng/m<sup>3</sup>) e Chumbo (0,5 µg/m<sup>3</sup>). A média dos valores encontrados nesse estudo estão dentro do recomendado para o Cd e acima (30 ng/m<sup>3</sup>) do recomendado para Ni na estação AT.

As análises de elementos traço mostraram que a Estação Arranca Toco é mais impactada pela atividade industrial da região. O manganês e o ferro tiveram o resultado mais expressivo nas duas estações, são elementos

que não vaporizam mesmo nas altas temperaturas de combustão. Outros elementos analisados como o Cd e Pb, fazem parte de um grupo de elementos que são volatilizados durante a combustão e condensam sobre a superfície das cinzas sendo enriquecidos nestas partículas. Já o Ni, o Cr, o Be e o Co, fazem parte de um grupo intermediário, entre os que não são vaporizados ou que são enriquecidos sobre as cinzas leves. (Pires, 1990; Godoy et al., 2005).

Além de ter origem na queima de fósseis, já há comprovação da emissão de metais por diversos processos industriais (Maycon et al., 2014) ou pelo uso de material industrializado, como o cromo que pode estar presente devido a origem em fundição de metais e produção de cimento, outros elementos como o Cd e Ni estão também associados a utilização de derivados de petróleo, assim como o Cu associado a queima de resíduos. (Osório et.al.2015)

A presença de cádmio na atmosfera está relacionada a diferentes causas como a atividade vulcânica, incêndios florestais, emissões de indústrias de ferro e aço, combustíveis fósseis (carvão, óleo, gás, turfa), madeira, cimento e fertilizantes fosfatados entre outras. O cádmio e seus compostos ocorrem na atmosfera na forma de material particulado suspenso, embora apresentem baixa pressão de vapor, o Cd é um elemento volátil e pode ser emitido como vapor em processos que envolvem temperaturas extremamente altas, como indústria de ferro e aço. (CETESB, 2012) O níquel está disponível na natureza no solo, em fumaças vulcânicas e no fundo dos oceanos. Também pode ser lançado no meio ambiente em resíduos de indústrias que o utilizam como matéria prima. Dentre as indústrias que geram resíduos com níquel, destacamos as do setor de papel, refinarias de petróleo, siderúrgicas e processos de galvanoplastia (Figueiredo, 2013).

#### 4.4. CARACTERIZAÇÃO MORFOLÓGICA E COMPOSIÇÃO ELEMENTAR DO TSP

A partir das imagens obtidas por MEV das amostras de PTS observou-se a presença de partículas heterogêneas com diferentes formas e tamanhos, provavelmente pela ampla faixa de granulometria compreendida nesse tipo de amostra (~0,1 a 100 µm). As análises das partículas individuais mostram que os elementos predominantes foram o silício e o alumínio, esses elementos são os componentes predominantes no cinza volante e no caso do silício está presente na composição dos filtros de fibra de vidro utilizados na amostragem. O ferro também é um elemento recorrente nas amostras avaliadas. Outro metal presente em algumas amostras foi o zinco, metal associado a processos de galvanização do aço ou do ferro e também a processos siderúrgicos (Gajghate & Bhanarkar, 2005). Esse metal já foi identificado em estudos realizados em 2009 no material suspenso e na precipitação úmida da RMPA (Osorio *et al.*, 2015). Cabe destacar que a presença de Zn ocorre mesmo nas amostragens nos períodos em que não há geração termelétrica, o que pode ser um indicador que há outra fonte responsável pela emissão deste poluente.

A imagem (não apresentada) da composição química da amostra do dia 31/07/2013, da Estação Arranca Toco, mostra a presença de Si, Al, K, Mg, Ca e Sr,

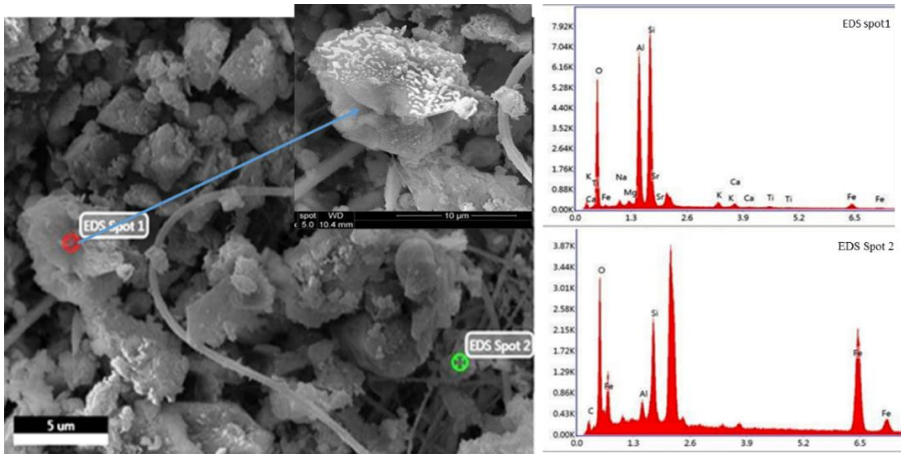
Comparando-se as concentrações de Cu, Ni, Mn, Pb e Cd obtidas em estudo realizado pela Fundação Estadual de Proteção Ambiental (VASSILIOU *et al.* 2000), na estação denominada Centro ao lado da atual Arranca Toco no período de 1994 e 1995, as concentrações atuais foram entre 1,3 e 59 vezes inferiores. Esses resultados podem indicar uma diminuição das emissões industriais entre os períodos estudados.

Em outro estudo realizado pela FEPAM com dados de 2010 e 2011 na estação CORSAN (figura 1) na cidade de Charqueadas (CARDOSO *et al.*, 2014), foram analisados os elementos Cd, Cr, Ni, Pb, Zn, Mn, Cu e Fe nas partículas PM10. Os resultados indicaram que a qualidade do ar monitorada nessa estação é compatível com áreas urbanas industriais, e que o aumento de material particulado não implica no aumento dos elementos menores analisados. Da mesma forma que neste estudo os elementos mais abundantes encontrados foram o Ferro e o Manganês.

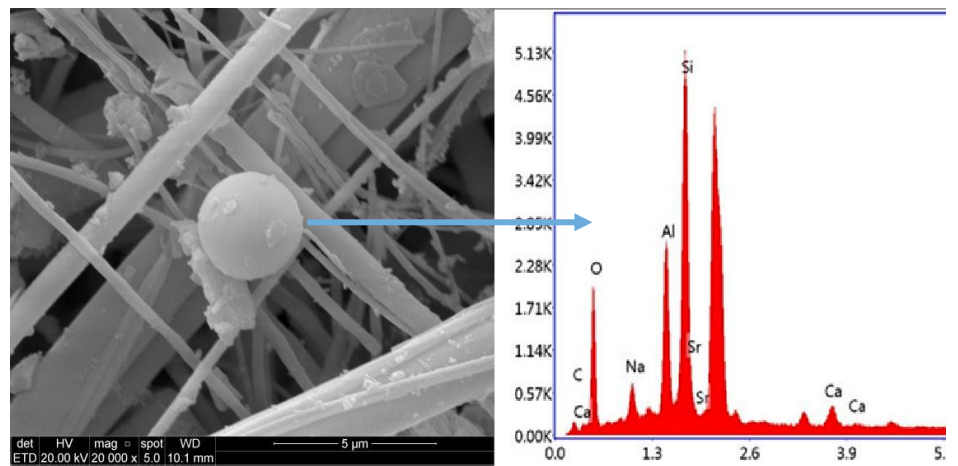
elementos de características com origem de ressuspensão de poeira do solo. No período em que ocorreu esta amostragem a usina termelétrica não estava gerando energia e a predominância do vento era sudeste, direção predominante do vento na região que favorece a captação de particulados proveniente das emissões atmosféricas da usina.

Na imagem (não apresentada) das partículas identificadas na amostragem de 26/03/2009 – Estação AT- foram identificados os elementos Si, Al, K, Mg, Ca, Sr, Fe, Zn e Ti. Nesse dia a usina termelétrica estava com uma geração horária de 46,01 MW e o equipamento para controle do material nessa data eram os precipitadores eletrostáticos e a predominância dos ventos era sudeste, na direção onde estão localizadas as estações de monitoramento. A diferença identificada entre esta amostra e a do dia 31/07/2013 é a presença do titânio.

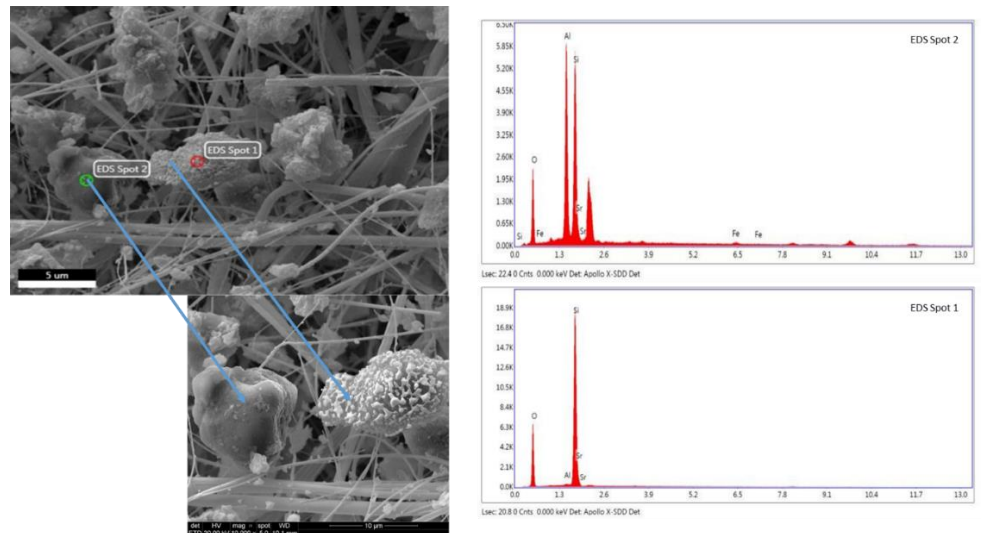
A Imagem das partículas identificadas na amostragem de 11/09/2013 da estação AT figura 6 foram identificados os elementos Si, Al, Na, K, Mg, Ca, Sr, Fe, Zn e Ti. A partir de outubro de 2010 a usina termelétrica estava equipada com Filtros de manga e Lavador de Gases. Na data dessa amostragem a geração foi de 41,71 MWh. A predominância dos ventos durante essa amostragem era sul-sudeste



**Figura 6** Imagem das partículas identificadas na amostragem de 11/09/2013 ( $124 \text{ mg m}^{-3}$ ) Estação AT e espectros EDS indicados nos spots 1 e 2.



**Figura 7** Imagem das partículas identificadas na amostragem de 19/10/2011 ( $98 \text{ mg m}^{-3}$ ) – Estação AT e espectro EDS



**Figura 8** Imagem das partículas identificadas na amostragem de 07/12/2014 ( $101 \text{ mg m}^{-3}$ ) Estação DP e espectros EDS indicados nos spots 1 e 2



Os elementos identificados na imagem das partículas da amostragem de 19/10/2011 da estação Arranca Toco, são os mesmos descritos nas amostragens anteriores. Durante essa amostragem a geração horária foi de 25,29 MWh e a usina estava operando equipada com filtros de manga e Lavador de Gases, a direção predominante do vento era Sul - sudeste. Nessa imagem (figura 7) foi possível visualizar uma cenoesfera, comumente encontrada em amostras de cinzas e carvão. (Paprocki, 2009)

As partículas contendo Si, Al, K, Mg, Ca, Sr, Fe, Zn, Ge e Ti foram identificadas nas imagens (não apresentadas) da amostragem de 01/11/2009 – estação DP, nessa amostragem a Usina termelétrica estava operando e a geração horária era de 26,72 MWh, nessa data o

## 5. CONCLUSÃO

O estudo apresentado indica que a adoção de tecnologias modernas de tratamento dos efluentes atmosféricos da termelétrica resultou em melhoria na qualidade do ar da região analisada.

Os resultados das duas estações na média geométrica anual estão abaixo do limite que estabelece a Resolução CONAMA para o padrão secundário, no entanto a estação DEPREC, mais afastada da usina, apresenta resultados ainda menores do que a estação Arranca Toco, localizada no centro urbano de Charqueadas e próxima à termelétrica. Também é possível observar que não há uma relação direta entre o aumento da geração de energia e o aumento da concentração de particulado total suspenso no ar.

Com relação ao PM10 amostrado na Estação Arranca Toco, não há amostragem desse poluente realizada antes das melhorias implantadas na usina, que possibilite uma comparação dos níveis de poluição antes e depois da instalação dos novos controles. No entanto esse é um poluente cuja a concentração nos grandes centros urbanos tem aumentado, fato não observado nos 6 anos amostrados na Estação Arranca Toco, pois há uma leve redução dos valores medidos o que pode ser um indicativo de que a eficiência do controle da emissão de finos pelos filtros de mangas

## 6. AGRADECIMENTOS

Agradecemos a Tractebel Energia pela disponibilização dos dados de qualidade do ar obtidos nas estações mantidas e operadas pela

lavador de gases ainda não estava em operação, o controle ambiental eram os filtros de manga.

A direção predominante do vento era sul- sudeste. A Imagem das partículas identificadas nas imagens (não apresentadas) da amostragem de 16/11/2014 na Estação DEPREC compreendem os elementos Si, Al, K, Mg, Ca, Fe e Zn. A termelétrica não estava gerando energia nessa data e a direção predominante era sul-sudeste. Os elementos Si, Al, Sr e Fe, foram os identificados na imagem da amostragem de 07/12/2014 (figura 8), nessa data, a usina tinha geração horária de 44,27 MWh, estava equipada com filtros de manga e FGD. A direção predominante do vento era Sul.

associado ao lavador de gases trouxe benefícios significativos na redução da parcela de poluentes que causam prejuízos à saúde humana.

As análises morfológicas do particulado total mostraram uma grande variedade de partículas devido à larga faixa de granulometria do material coletado e a ausência de diferença significativa entre as amostras das duas estações. Há semelhança entre as partículas analisadas e as encontradas em amostras de cinzas volantes e a material de ressuspensão do solo. Na composição elementar das partículas avaliadas foram encontrados os elementos metálicos Fe e Zn que, além da relação com as emissões da termelétrica podem estar relacionados as emissões de siderúrgica existente na região, uma vez que em amostragens em que a termelétrica estava fora de operação eles continuaram presentes nas amostras.

Para que os resultados sejam representativos, as variações climáticas têm que estar inseridas na avaliação bem como o conhecimento qualitativo e quantitativo das emissões da região estudada. Somente com a integração desses elementos o monitoramento ambiental poderá se tornar um instrumento auxiliar na gestão da qualidade do ar pelos órgãos responsáveis

empresa.

M.P. agradece ao CNPq pela concessão de bolsa de produtividade.

## 7. ANEXO - MATERIAL SUPLEMENTAR

**Tabela S1** - Geração da usina, condições meteorológicas e concentração de material particulado na Estação Arranca Toco das amostras selecionadas para caracterização química e morfológica. Local de Coleta: Estação Arranca Toco

Data	Concentração $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Temperatura Ar $^{\circ}\text{C}$	Pressão mmHg	Velocidade Vento $\text{m.s}^{-1}$	Direção vento pred.	Precipitação Pluviométrica (mm)	Geração MW
08/02/2009	111	24,0	759	2,09	SSE - Sul Sudeste	0,00	905,322
26/03/2009	140	23,1	758	2,01	SE - Sudeste	0,00	1.104,464
15/04/2009	177	18,1	766	2,00	S - Sul	1,05	978,614
03/03/2010	85	24,1	761	2,04	SE - Sudeste		295,680
18/08/2010	136	18,6	761,7				1.054,604
22/08/2010	177	21,0	758				886,951
14/06/2011	120	11,1	766,1				599,826
10/07/2011	118	12,0	761,1	1,00	WSW - Oeste Sudoeste	0,50	252,136
04/09/2011	113	19,1	757,1	0,06	SE - Sudeste	22,05	4,574
19/10/2011	98	19,1	765	2,00	SSE - Sul Sudeste	3,05	606,959
09/05/2012	103	20,0	761	1,01	E - Este	0,00	598,282
08/08/2012	126	18,0	762,1	1,06	ESE - Este Sudeste		30,755
23/04/2013	108						706,373
31/07/2013	123	14,0	459,1	0,09	SE - Sudeste	4,02	0,00
21/08/2013	110	18,1	758	1,09	SSE - Sul Sudeste		658,529
11/09/2013	124	24,1	759,1	1,03	SSE - Sul Sudeste		1.001,170
16/07/2014	117	19,0	762	1,02	SE - Sudeste	0,04	1.044,719
06/08/2014	105	15,1	761	1,03	SE - Sudeste	0,02	658,040
08/10/2014	115	23,0	758,1	2,00	SE - Sudeste	0,02	1.335,388
25/03/2015	123	25,1	760	1,05	SE - Sudeste	0,02	669,102
29/07/2015	98	17,1	764	0,07	SSW - Sul Sudoeste	0,02	1.214,851
02/08/2015	92	21,0	759	1,00	SSE - Sul Sudeste	0,00	1.361,040

**Tabela S2** - Geração da usina, condições meteorológicas e concentração de material particulado na Estação DEPREC das amostras selecionadas para caracterização química e morfológica.

Data	Concentração $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Temperatura Ar $^{\circ}\text{C}$	Pressão mmHg	Velocidade Vento $\text{m.s}^{-1}$	Direção vento pred.	Precipitação Pluviométrica (mm)	Geração MW
16/08/2009	54	22,4	755,4	1,08	SSE - Sul Sudeste	0	651,182
25/10/2009	63	18,1	759	4,02	NNE - Nor Nordeste	0	309,380
01/11/2009	97	25,0	756,1	2,04	SSE - Sul Sudeste	0	641,338
18/04/2010	60	23,1	761	1,03	NE - Nordeste	0	546,939
22/08/2010	91	21,0	758				886,951
23/10/2011	89	24,1	762,1	0,07	SE - Sudeste	2	286,369
06/11/2011	58	23,0	761,1	2,06	S - Sul	1,05	403,535
20/11/2011	63	23,0	759	1,05	SE - Sudeste	1,05	280,560
28/04/2013	45	22,1	759	1,01	ESE - Es Sudeste		990,786
07/06/2013	43	11,1	762,1	0,09	S - Sul		1.059,834
20/10/2013	64	24,0	753,1	1,08	SE		687,321
07/07/2013	43	14,0	761,1	2,02	SSE - Sul Sudeste	72,02	313,736
08/12/2013	43	25,0	757	1,07	SSW - Sul Sudoeste	0	1.008,173
16/11/2014	77	22,1	761,1	1,05	SSE - Sul Sudeste	0	0,000
30/11/2014	97	28,0	756,8	2,00	ESE - Es Sudeste	0	988,657
07/12/2014	101	27,1	757,1	1,04	S - Sul	0	1.062,470
25/01/2015	79	26,1	756,1	2,01	WSW - Oeste Sudoeste	0	1.013,835
30/08/2015	58	20,1	762	0,06	SW - Sudoeste	0	1.320,085

**Tabela S3 - Estatística Descritiva do Material Particulado Total referente aos anos 1996 a 2005 nas Estações Arranca Toco (AT) e DEPREC (DP).**

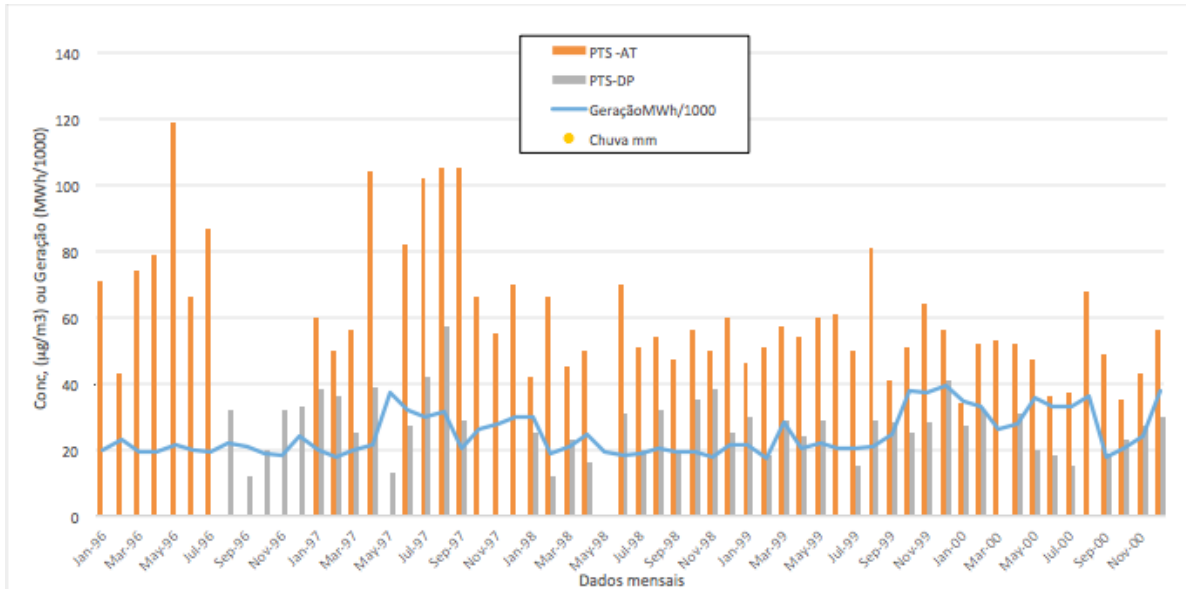
Ano	1996		1997		1998		1999		2000		2001		2002		2003		2004		2005		
	AT	DP	AT	DP	AT	DP	AT	DP	AT	DP	AT	DP	AT	DP	AT	DP	AT	DP	AT	DP	
Estadísticas																					
Média Aritmética	72,94	26,38	78,36	33,5	53,14	25,7	56,28	27,09	45,66	23,97	49,52	27,13	46,12	23	49,02	21,18	51	24,66	45,55	23,73	
Média Geográfica	62,47	19,35	62,83	28,49	47,31	22,6	49,55	24,65	40,53	21,39	45,11	23,16	40,62	20,19	41,89	18,06	44,7	23,07	39,32	21,06	
Desvio padrão	39,05	19,49	39,93	18,07	25,98	12,98	27,5	11,43	23,57	10,93	27,58	18,46	22,21	12,29	11,99	11,19	27,61	9,31	23,64	10,11	
Erro Padrão	5,42	4,25	4,68	7,38	3,11	2,36	3,41	1,93	2,72	1,93	3,14	2,96	2,55	1,97	3,55	1,67	5,05	1,4	2,81	1,38	
Mediana	65,5	23	68	29	48	23	51	24	43,5	23	43	23	44	22	42	21	48,5	23	41	26	
Variação da Amostra	1525,23	379,23	1595,68	326,7	675,14	168,41	736,2	130,61	546,28	119,45	760,57	340,59	493,28	151,11	102,15	125,24	762,27	86,7	558,82	102,3	
Curtose	0,66	1,53	0,9	-1,76	0,25	1,65	2,93	-0,01	0,66	2,17	3,22	7,09	0,46	1,79	14,48	0,31	3,72	1,19	-0,32	40,03	
Assimetria	0,89	1,19	1,06	-1,76	0,89	1,08	1,25	-0,01	0,77	1,14	1,55	2,49	0,68	1,32	14,48	0,7	1,62	0,97	-0,32	-0,03	
Intervalo	183	76	189	80	110	61	155	58	120	52	152	93	110	6	225	2	138	43	0,64	445	
Mínimo	10	3	2	43	16	5	5	51	7	5	9	7	7	11	11	11	11	11	11	1,02	5
Máximo	193	79	194	14	126	66	160	6	127	57	161	100	120	58	13	54	149	54	6	50	41
Número de Amostras	52	21	73	6	70	33	65	35	74	32	77	39	76	39	81	45	82	44	71	41	41

**Tabela S4 - Estatística descritiva da composição química do TFS das amostras selecionadas coletadas na estação Arranca Toca (Tab. S2).**

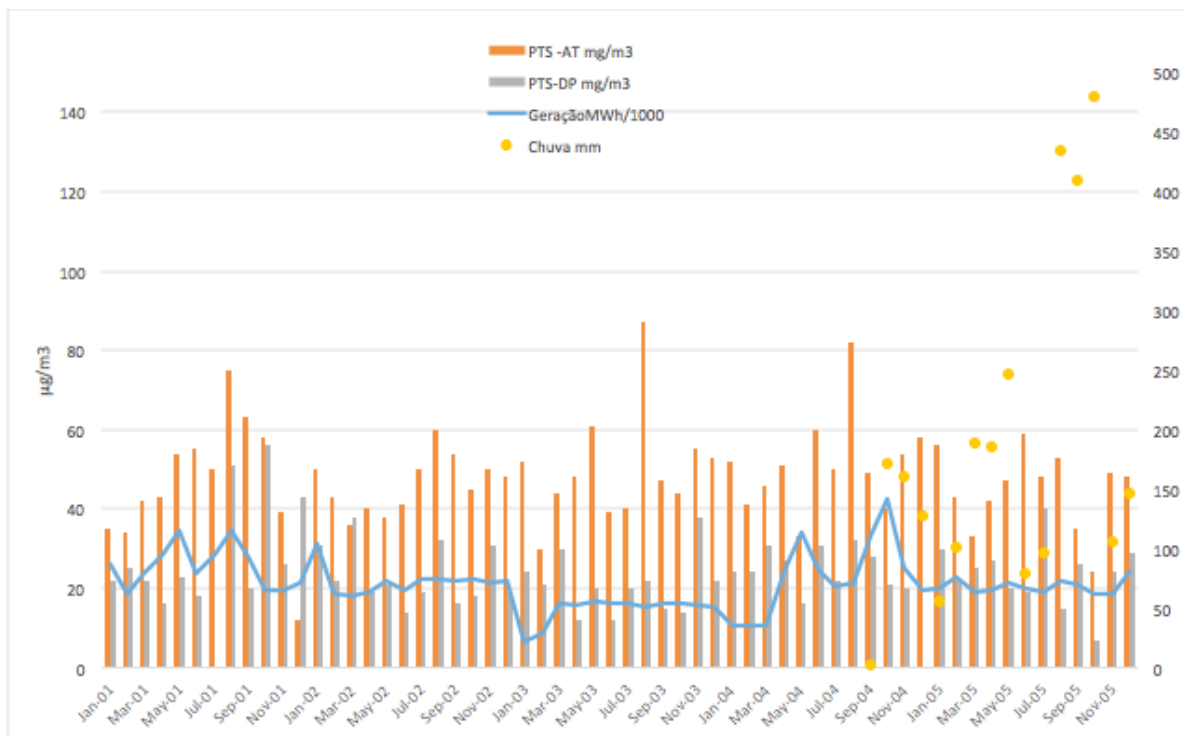
Parâmetros	Li		Be		V		Cr		Mn		Ni		Co		Cu		Se		Mo		Ag		Cd		Pb		U		Fe	
	AT	DP	AT	DP	AT	DP	AT	DP	AT	DP	AT	DP	AT	DP	AT	DP	AT	DP	AT	DP	AT	DP	AT	DP	AT	DP	AT	DP	AT	DP
n	22	25	24	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25
Média Aritmética	14	0,4	6	28	109	31	0,9	24,3	0,5	5	0,3	4	0,2	2	28	0,3	1743													
Desvio padrão	9	0,3	3	24	82	17	0,4	13,5	0,5	4	0,2	2	28	0,3	1743															
Variação	81,4	0,08	8,34	558,6	6658	288,5	0,14	182,4	0,25	15,39	0,05	5,86	773,6	0,09	3E+06															
Erro-padrão	1,92	0,06	0,59	4,73	16,32	3,4	0,07	2,7	0,11	0,78	0,06	0,67	5,56	0,06	355,7															
Coefficiente de variação	0,67	0,68	0,45	0,85	0,75	0,56	0,43	0,55	1,01	0,8	0,72	0,54	0,85	0,63	0,5															
Mínimo	1,41	0,01	1,43	2,4	11,37	5,63	0,21	4,37	0,01	0,61	0,04	0	0,45	0,16	476															
Máximo	31,92	0,9	15,59	97,08	415,1	81,86	1,75	61,32	2,42	14,74	0,71	6,6	104	1,28	7728															
Curtose	2,34	1,89	5,51	5,11	9,33	4,7	5,11	3,48	11,35	3,54	2,59	2,44	2,59	4,05	3,47															

**Tabela S5 - Estatística descritiva da composição química do TFS das amostras selecionadas coletadas na estação DEPREC (Tab. S1).**

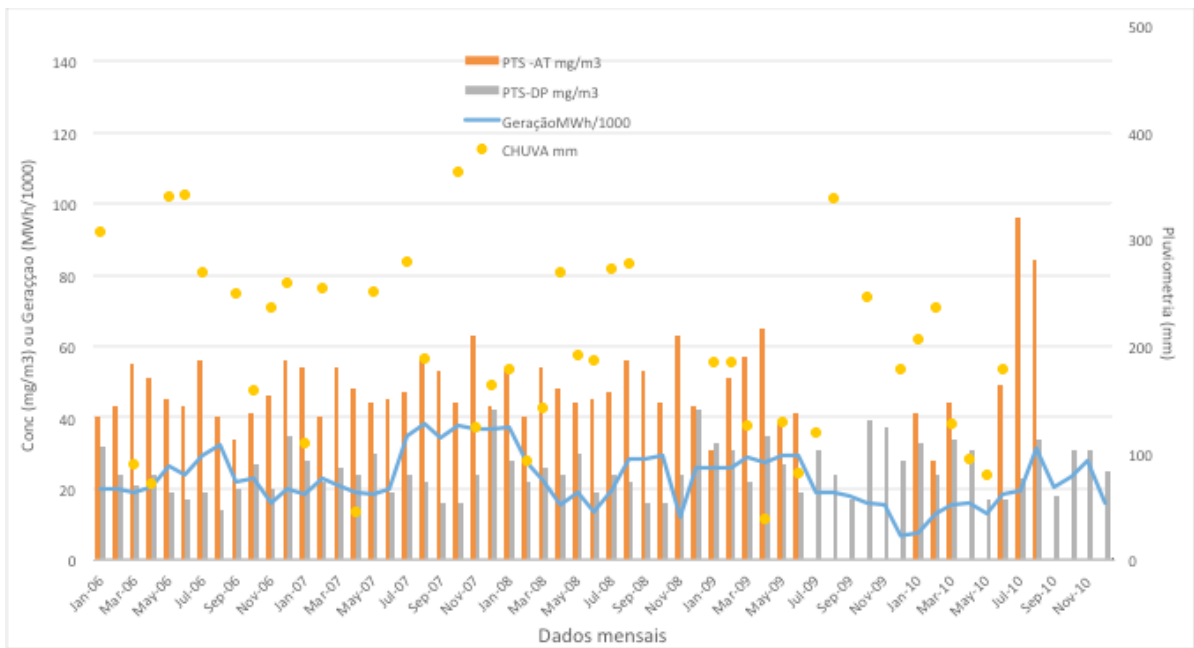
Parâmetros	Li		Be		V		Cr		Mn		Ni		Co		Cu		Se		Mo		Ag		Cd		Pb		U		Fe	
	AT	DP	AT	DP	AT	DP	AT	DP	AT	DP	AT	DP	AT	DP	AT	DP	AT	DP	AT	DP	AT	DP	AT	DP	AT	DP	AT	DP	AT	DP
n	13	14	15	8	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15
Média Aritmética	6	0,13	3	3	27	9	0,5	11	0,11	0,54	0,08	3	13	0,11	1117															
Desvio padrão	19	0,00	5	7	311	25	0,1	25	0,00	0,07	0,01	1	136	0,01	755															
Variação	8,6	0,2	4,6	5,6	36,7	11,7	0,7	13,5	0,1	0,7	0,1	3,9	19,0	0,2	5,7E+05															
Erro-padrão	4,31	0,07	2,31	2,64	17,65	5,04	0,30	5,03	0,06	0,26	0,09	1,10	11,64	0,08	2,0E+02															
Coefficiente de variação	1,19	0,02	0,60	0,93	4,56	1,30	0,08	1,30	0,02	0,07	0,03	0,42	3,01	0,02	0,68															
Mínimo	0,90	0,02	0,80	0,12	7,13	3,29	0,15	2,80	0,01	0,14	0,00	2,12	0,71	0,01	366															
Máximo	17,00	0,26	7,66	6,91	62,16	18,36	1,10	22,00	0,19	1,04	0,20	5,15	40,96	0,36	2779															
Curtose	4,31	2,30	2,32	1,44	2,71	1,99	2,31	2,88	2,17	2,71	1,53	3,62	3,15	6,73	2,64															



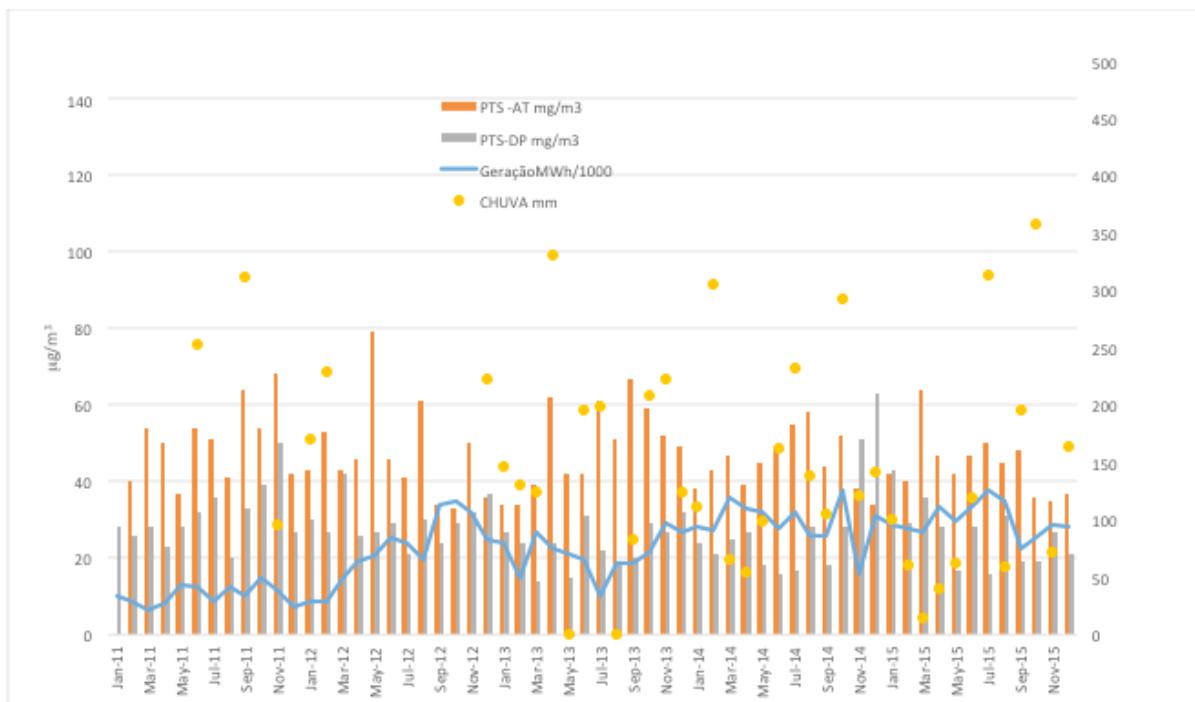
**Figura S1** Concentrações médias geométricas mensais de TSP nas estações Arranca Toco (AT) e DEPREC (DP), geração mensal de energia pela Termochar e pluviometria (acumulado mês), referente ao período de janeiro 1996 a dezembro 2000.



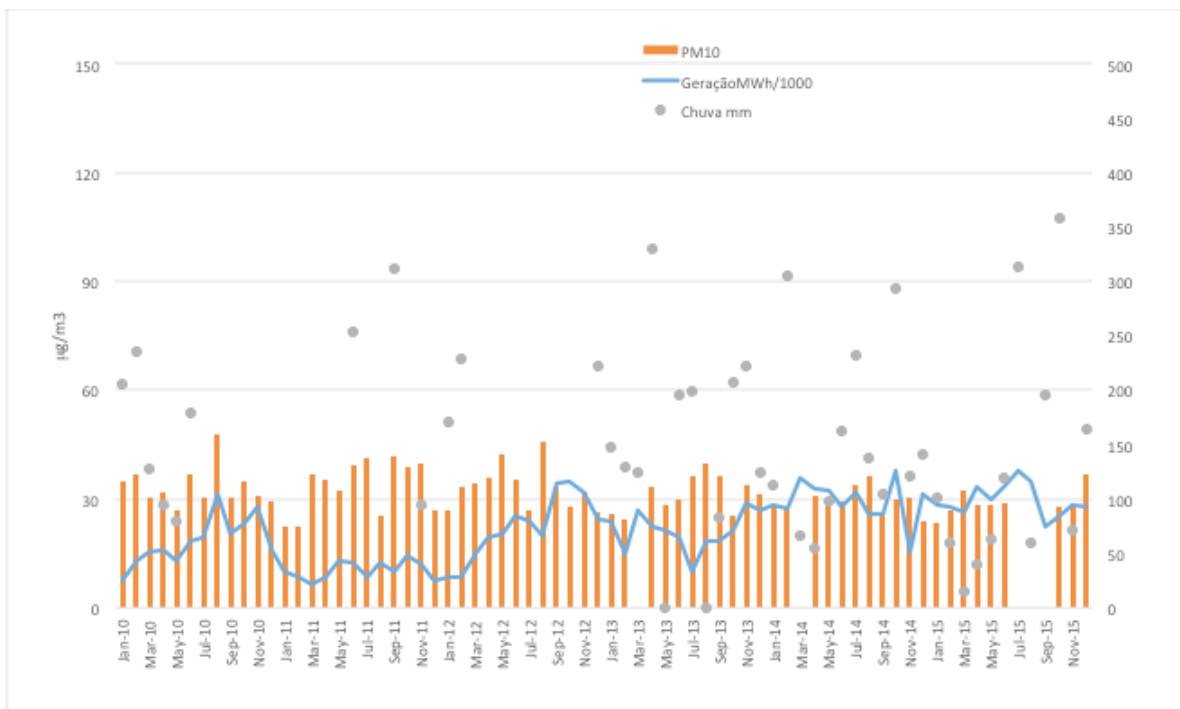
**Figura S2** Concentrações médias geométricas mensais de TSP nas estações Arranca Toco (AT) e DEPREC (DP), geração mensal de energia pela Termochar e pluviometria (acumulado mês), referente ao período de janeiro 2001 a dezembro 2005



**Figura S3** Concentrações médias geométricas mensais de TSP nas estações Arranca Toco (AT) e DEPREC (DP), geração mensal de energia pela Termochar e pluviosimetria (acumulado mês), referente ao período de janeiro 2006 a dezembro 2010.



**Figura S4** Concentrações médias geométricas mensais de TSP nas estações Arranca Toco (AT) e DEPREC (DP), geração mensal de energia pela Termochar e pluviosimetria (acumulado mês), referente ao período de janeiro 2011 a dezembro



**Figura S5** Concentrações médias geométricas mensais de PM10 nas estações Arranca Toco (AT) e DEPREC (DP), geração mensal de energia pela Termochar e pluviometria (acumulado mês), referente ao período de janeiro 2010 a dezembro 2015.

## 8. REFERÊNCIAS

### ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS

TÉCNICAS. NBR 9547: Material particulado em suspensão no ar ambiente- Determinação da concentração total pelo método amostrador de grande volume. Rio de Janeiro, 1998.

Baird, C. & Cann M. 2011. *Química Ambiental*. 4ª ed., Editora Bookman, Porto Alegre, 844 pp.

Cardoso, N.C.; Silva, I.M.C.O.; Carvalho, C.T.; Soares, N.B.; Rodrigues, M.L.K.; 2014. Avaliação do Teor de Material Particulado Atmosférico inalável (MP<sub>10</sub>) na Região Metropolitana de Porto Alegre no Período 2010 – 2012. In: IX Simpósio Internacional de Qualidade Ambiental, 150p.

Cardoso, N.C.; Silva, I.M.C.O.; Carvalho, C.T.; Soares, N.B.; Rodrigues, M.L.K.; 2013. Comparação da qualidade do ar em dois municípios da Região Metropolitana de Porto Alegre afetados por diferentes contribuições antropogênicas, Porto Alegre, *FEPAM em Revista*. 7(1-2): 36-45.

CETESB, 2012. Cádmiio e seus compostos. Disponível em:

<http://cetesb.sp.gov.br/wpcontent/uploads/sites/47/2013/11/cadmio.pdf>. Acesso em mai.2016.

CONSELHO NACIONAL DE MEIO AMBIENTE. Resolução CONAMA nº 3 de 28 de junho de

1990. Diário Oficial da República Federativa do Brasil, Brasília, 22 de agosto de 1990.

EPA - UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. 2016. Air Monitoring Methods - Criteria Pollutants. Disponível em:

[www.epa.gov/ttn/amtic/criteria.html](http://www.epa.gov/ttn/amtic/criteria.html).

Acesso em julho, 2016.

FEPAM - Fundação Estadual de Proteção Ambiental Henrique Luís Roessler. Diagnóstico da Qualidade do Ar no Rio Grande do Sul no período de 2003 a 2012 – Porto Alegre: FEPAM, 2014.

Ferraro L.V., Hazenack H. 2000. Clima. In: Vassiliou, M. & Dick, T (eds.) *Carvão e Meio Ambiente*. Centro de Ecologia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre. p.:23-44.

Figueiredo, N.M. 2013 Tratamento de efluente sintético contendo níquel e zinco por biossorção utilizando *Sargassum filipendula*. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Escola de Química, Rio de Janeiro. 86p.

Gajghate, D.G. & Bhanarkar, A.D. 2005. Characterisation of particulate matter for toxic metals in ambient air of Kochi city, India. *Environ. Monit. Assess.* 102: 119-129.

- Godoy, M.L., Godoy, J.M., Artaxo, P., 2005. Aerosol source apportionment around a large coal fired power plant- Thermolectric Complex Jorge Lacerda, Santa Catarina, Brasil, *Atm. Environ.* 39: 5307–5324.
- Hinrichs, R. A. 2009. *Energia e Meio Ambiente*, 3ª ed., Editora Thomson, São Paulo, 708 pp.
- IEA Clean Coal Centre- 2012, Trace element emissions from coal. Disponível em: <http://www.iea-coal.org.uk/documents/83083/8631/Trace-element-emissions-from-coal> . Acesso: dez/2015.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Cidades. Disponível em <http://cidades.ibge.gov.br>. Acesso: jan/2016.
- JAPAN INTERNATIONAL COOPERATION AGENCY (JICA), 1997. The Study on evaluation of environmental quality in regions under influence of coal steam power plants in Federal Republic of Brazil, Final Report, Tokyo, Japan.
- Lima A.P. 2007. Um estudo sobre a qualidade do ar em Uberlândia: Material Particulado em Suspensão. Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química, Universidade Federal de Uberlândia. 149 pp.
- Machado V.B. 2012. Identificação das fontes de MP fino (MP 2,5) de Porto Alegre. Dissertação de Mestrado Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas Universidade de São Paulo, 144 p.
- Maliska, A. M. 2016. Microscopia Eletrônica de Varredura. Disponível em: [http://www.usp.br/nanobiodev/wp-content/uploads/MEV\\_Apostila.pdf](http://www.usp.br/nanobiodev/wp-content/uploads/MEV_Apostila.pdf). Acesso: em junho de 2016
- Maycon, M., Quitério L.M., Lopes R. Loyolaq J., Arbila G. 2014. Caracterização de metais traço no material particulado atmosférico inferior a 2,5 µm (MP2,5) no entorno de uma área industrial. *Rev. Perspec. da Ciência Tec.*, 6: 2- 12.
- Osorio D.M.M., Alves D.D., Rodrigues, Mas, Schuck S. 2015 Morfologia e composição do material particulado atmosférico da bacia hidrográfica do Rio dos Sinos (RS) analisados por microscopia eletrônica de varredura. *Rev. Geoch. Brasil.* 29(2) 4557.
- Paproki, A. 2009. Síntese das zeólitas a partir de cinzas de carvão visando sua utilização na descontaminação de drenagem ácida de mina. Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-Graduação em Engenharia e Tecnologia de Materiais, Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul, 156p.
- Pires, M. 1990. Caracterização e modelamento das emissões atmosféricas da usina termelétrica Jacuí I. Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-Graduação Engenharia Metalúrgica, Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 207p.
- Pires, M., Haidi, F., Teixeira, E. C. 2002. Distribuição geoquímica de elementos traço em carvão, Capítulo 12, In: Meio Ambiente e Carvão: Impactos da exploração e utilização. Teixeira, E.C., Pires, M.J.R., (Eds.). Cadernos de Planejamento e Gestão Ambiental, FEPAM, Porto Alegre. p. 237-252.
- Rohde, W.E, G.M., Zwonok, O., Chies, F., 2006. *Cinzas de carvão fóssil no Brasil*, Aspectos Técnicos e Ambientais, VOI.1, Porto Alegre, CIENTEC, 202p.
- Seinfeld, J. H. & Pandis, S. N. 2006. *Atmospheric chemistry and physics: from air pollution to climate change*, 2nd ed. John Wiley & Sons, New York, 1203 pp.
- Sundstron, M. 2012. Caracterização e avaliação das cinzas da combustão de carvão mineral geradas na região do Baixo Jacuí – RS. Dissertação de Mestrado, Centro Universitário La Salle, Canoas, 121p.
- Vassiliou, M.; Dick, T. (Eds.) 2000. *Carvão e Meio Ambiente*. Centro de Ecologia UFRGS, Porto Alegre, 479 pp.
9. WHO Air Quality Guidelines for particulate matter, ozone, nitrogen dioxide and sulfur dioxide global update 2005 disponível: <http://www.euro.who.int/document/E87950.pdf> acesso em out.2015

## **2.1 ARTIGO 2 - Avaliação da Influência dos Poluentes de Termelétrica a Carvão na Qualidade do Ar**

**Submetido para Pesquisas em Geociências da UFRGS.**

### **Avaliação da Influência dos Poluentes de Termelétrica a Carvão na Qualidade do Ar**

#### **Assessment of the influence of coal- fired power plan on air quality**

Rita Clarice Machado TISSOT<sup>1</sup>, Rita de Cássia Marques ALVES<sup>2</sup>, Marçal PIRES<sup>3</sup>, Renato BARBOSA<sup>4</sup>, José Lourival MAGRI<sup>5</sup>

- (<sup>1</sup>) Programa de Pós- Graduação em Sensoriamento Remoto, Área de Concentração Sensoriamento Remoto e Geoprocessamento, da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Av. Bento Gonçalves, 9.500, CEP 91.540-000, Porto Alegre, Brasil. E-mail: ritactissot@gmail.com.
- (<sup>2</sup>) Instituto de Geociências da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Av. Bento Gonçalves, 9.500, CEP 91.540-000, Porto Alegre, Brasil E-mail: rita.cma@terra.com.br
- (<sup>3</sup>) Escola de Ciências, Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul, AV. Ipiranga,6681 CEP 90.619-900 Porto Alegre, Brasil E-mail: mpires@pu.rs.br
- (<sup>4</sup>) Engie Brasil Energia – Usina Termelétrica de Charqueadas, Rua Geólogo White s/nº CEP96.745-000 Charqueadas, Brasil E-mail:renato.barbosa@engie.com
- (<sup>5</sup>) Engie Brasil Energia – Meio Ambiente e Responsabilidade Social, Florianópolis, Brasil E-mail: jose.magri@engie.com

**Resumo.** O Objetivo deste trabalho é avaliar a qualidade do ar referente ao material particulado (PTS), partículas inaláveis (PM10), dióxido de enxofre (SO<sub>2</sub>) e dióxido de nitrogênio (NO<sub>2</sub>), e a contribuição das emissões atmosféricas da Usina Termelétrica de Charqueadas (região metropolitana de Porto Alegre – RS), no período de 2010 a 2018, considerando nesse período duas situações distintas. De 2010 a 2016 a usina em operação e a partir de 2016 quando a usina paralisou as atividades de geração, não emitindo mais poluentes para a atmosfera.

Os dados avaliados foram obtidos em duas estações de monitoramento da qualidade do ar, situadas nas cidades de Charqueadas (Estação Arranca Toco - AT) e Triunfo (DEPREC - DP). O estudo e os valores medidos mostram que os padrões secundários de qualidade do ar não foram ultrapassados no período avaliado. Com base no monitoramento realizado, observa-se que houve variação da qualidade do ar nas estações monitoradas após o término das operações da termelétrica com redução ou elevação da concentração dos parâmetros analisados, destacando-se como alteração mais significativa, a redução da concentração do SO<sub>2</sub> monitorado na estação AT, mais próxima da usina e elevação na concentração do SO<sub>2</sub> monitorado na estação DP, ambas estações apresentaram variação na ordem de 24%. A variação de



particulados demonstra uma tendência de redução desse poluente na estação mais distante e elevação na estação mais próxima da usina. Quanto ao NO<sub>2</sub> observa-se um aumento na concentração no monitoramento da Estação DEPREC, após a paralização das atividades de geração termelétrica.

**Palavras-chave.** Carvão, poluição, termelétrica, qualidade do ar,

**Abstract.** The objective of this work is to evaluate the air quality related to particulate matter (PTS), inhalable particles (PM<sub>10</sub>), sulfur dioxide (SO<sub>2</sub>) and nitrogen dioxide (NO<sub>2</sub>), and the contribution of atmospheric emissions from Charqueadas Thermoelectric Power Plant metropolitan region of Porto Alegre - RS), in the period from 2010 to 2018, considering in this period two different situations. From 2010 to 2016 the plant in operation and from 2016 when the plant paralyzed the generation activities, not emitting more pollutants into the atmosphere.

The data were obtained from two air quality monitoring stations located in the cities of Charqueadas (Estação Arranca Toco - AT) and Triunfo (DEPREC - DP). The study and measured values show that the secondary air quality standards not exceeded in the evaluated period. Based on the monitoring carried out, it observed that there was a variation of the air quality in the monitored stations after the thermoelectric operations closed, with a reduction or increase in the concentration of the analyzed parameters. Highlighting as the most significant alteration, the reduction of SO<sub>2</sub> concentration monitored at the AT station, closer to the plant and increase in the SO<sub>2</sub> concentration monitored at the DP station, both stations showed a variation of 24%. The variation of particulates shows a tendency of reduction of this pollutant in the most distant station and elevation in the station closest to the plant. Regarding NO<sub>2</sub>, there is an increase in the concentration in the monitoring of the DEPREC Station, after the stoppage of the thermoelectric generation activities.

**Keywords.** Coal, pollution, thermoelectric, air quality,

## 1 Introdução

Apesar dos efeitos da poluição terem sido descritos desde a antiguidade, somente com o advento da revolução industrial a poluição passou a atingir a população em grandes proporções. A rápida urbanização verificada em todo o planeta trouxe um grande aumento no consumo de energia e também de emissões de poluentes provenientes da queima de combustíveis fósseis por fontes fixas, como as indústrias, e por fontes móveis, como os veículos automotores. (Arbex et.al.2012)

As termelétricas, que produzem energia através da queima de combustíveis fóssil ou renováveis, emitem gases e material particulado para atmosfera. Em função do combustível utilizado, quantidades significativas de dióxido de enxofre, considerado um dos poluentes mais importantes devido à sua toxicidade e também por ser capaz de formar, através de reações químicas, outros poluentes mais ofensivos, causando vários problemas

para o meio ambiente, podendo-se dentre estes citar a redução da visibilidade, a formação de nebulosidade e precipitação ácida, a interação com a radiação solar, alterações na distribuição da temperatura, direção e velocidade do vento, e danos à saúde, etc. (Seinfeld, 1986).

As variáveis climáticas merecem destaque nos estudos de avaliação da qualidade do ar, pois influencia diretamente a atmosfera que como corpo receptor, caracteriza-se por promover a dispersão dos diversos poluentes lançados pelas fontes emissoras. (Silva, 1995).

Em relação à saúde humana, os efeitos da poluição podem ser de curto período (aumento da incidência de ataques de asma, aumento de pacientes com doenças respiratórias tais como bronquite crônica ou doenças pulmonares) e de longo período (aumento da incidência de decréscimo das funções pulmonares) (Lyons, 1990).

O efeito da utilização do carvão na combustão está relacionado à emissão de gases causadores de poluição atmosférica e desde a 1ª metade do século XX, a poluição do ar tem sido, um grave problema dos grandes centros urbanos e industriais, visto que a atmosfera recebe anualmente milhões de toneladas de gases tóxicos, como monóxido de carbono, dióxido de enxofre, óxido de nitrogênio e hidrocarbonetos, além de partículas que ficam em suspensão. As principais fontes geradoras de poluição atmosférica são os motores dos automóveis, as indústrias (termoelétricas, siderúrgicas, fábricas de cimento e papel, refinarias, etc.), as queimadas em florestas para expansão de lavouras, etc.

Atualmente, a principal aplicação do carvão mineral no mercado é a geração de energia elétrica por meios de usinas termelétricas. O carvão é o combustível fóssil com a maior disponibilidade do mundo, suas reservas totalizam aproximadamente 847,5 bilhões de toneladas, quantidade suficientes para atender a produção atual para 130 anos. (ANEEL, 2002).

De acordo com o World Coal Institute (WCI, 2013), o carvão mineral é responsável pelo fornecimento de 30% da energia primária e por cerca de 40% da eletricidade consumida no mundo. No Brasil, o carvão responde atualmente por 2,49% da capacidade de geração elétrica instalada e respondeu em 2012 por 1,6% da oferta interna de energia elétrica (EPE, 2013).

As leis ambientais nacionais e os acordos internacionais que envolvem os gases de efeito estufa, significam um desafio para a viabilidade de termelétricas a carvão mineral no futuro já que a pressão para redução das emissões de CO<sub>2</sub>, gases poluentes e partículas tende a se intensificar. Novas tecnologias como IGCC (Ciclo Combinado de

Gaseificação Integrada) e a queima em leito fluidizado pressurizado poderão ser utilizadas na produção de energia elétrica através do carvão com emissões menores, no entanto essas tecnologias ainda não são utilizadas no Brasil. (Nelson et.al., 2010)

O objetivo principal deste trabalho é apresentar os resultados da qualidade do ar, para os poluentes relacionados a geração termelétrica a partir do carvão, com dados monitorados em duas estações de monitoramento ambiental, instaladas no município de Charqueadas e Triunfo. Ambas estações foram implantadas e são operadas pela Engie Brasil Energia que, até o ano de 2016, operava uma Usina Termelétrica a carvão no município de Charqueadas, Estado do Rio Grande do Sul. O monitoramento da qualidade do ar apresentado neste trabalho, mostra os dados de material particulado total, material particulado PM 10, dióxido de enxofre e dióxido de nitrogênio coletados a partir do ano de 2010 até 2018. Esse período pode ser dividido em duas fases distintas, de 2010 até 2016 período que a usina termelétrica estava em operação e a partir de 2016 (novembro) após o encerramento das atividades de geração de energia, portanto sem emissão de poluentes para a atmosfera. Os dados são analisados à luz da Resolução CONAMA 03/90, que prevê a determinação sistemática da qualidade do ar de um grupo de poluentes universalmente consagrados como indicadores da qualidade do ar, devido a sua maior frequência de ocorrência e pelos efeitos adversos que causam ao meio ambiente e a saúde.

## **2 Área, materiais e métodos**

A Região Metropolitana de Porto Alegre (RMPA), área onde está inserido o município de Charqueadas, é a área de maior densidade populacional e industrial do Estado do Rio Grande do Sul, razão pela qual é mais afetada pela concentração de poluentes atmosféricos.

No centro do município de Charqueadas, distante 50 km de Porto Alegre, situa-se a Usina Termelétrica de Charqueadas (UTCH), movida a carvão fóssil e em operação comercial desde o ano de 1962. Entre os poluentes lançados por uma central térmica a carvão, destacam-se, pelo impacto local ou regional, o material particulado, os óxidos de nitrogênio (NO<sub>x</sub>) e os óxidos de enxofre (SO<sub>x</sub>). (JICA, 1997; Pires et al., 2002).

O município de Charqueadas possui uma área de territorial de 216,51 km<sup>2</sup> e uma população de cerca de 36.000 habitantes (IBGE, 2013). Situa-se na configuração topográfica da Depressão Central do estado do Rio Grande do Sul, em área continental, caracteriza-se por estações de verão quentes e invernos mais frio. O relevo da região favorece a entradas de massas polares no período de inverno. A cidade de Charqueadas,

apresenta uma altitude média de 20 metros ao nível do mar e faz parte da microrregião carbonífera situada na porção oriental do Baixo Jacuí

### 2.1 Localização da área

A seguir, na figura 1 encontra-se o mapa de localização da Cidade de Charqueadas, na Região metropolitana e desta no Estado do Rio Grande do Sul.

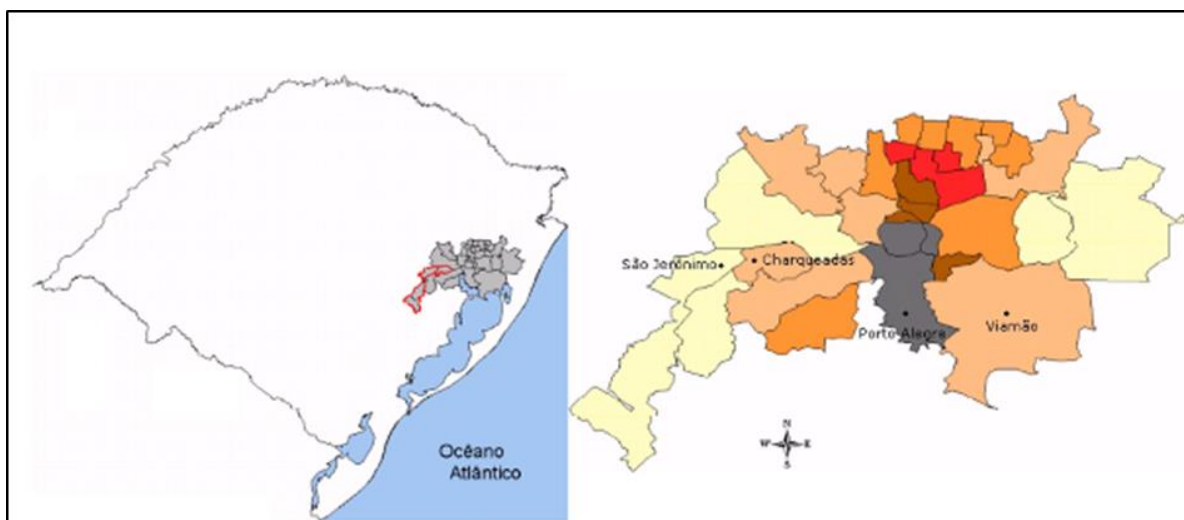


Figura 1. Mapa de localização da região metropolitana de Porto Alegre no Rio grande do Sul e município de Charqueadas

*Figure 1. Map of location of the metropolitan region of Porto Alegre in Rio Grande do Sul and municipality of Charqueadas*

O clima da bacia do Baixo Jacuí é do tipo mesotérmico, conforme a classificação de Köppen, caracterizada por temperaturas compreendidas entre -3 e 18°C no mês mais frio e superior a 22°C no mês mais quente, quanto a precipitação possui totais anuais superiores a 1.200 mm bem distribuídos ao longo do ano. Os ventos predominantes são de Sudeste, com maior intensidade nos meses de primavera e a umidade relativa do ar é alta o ano inteiro, sempre maior que 70%, em função do alto teor de umidade das massas atuantes. (Ferraro et al. 2000)

As variáveis climáticas merecem destaque nos estudos de avaliação da qualidade do ar, pois influenciam diretamente a atmosfera que, como corpo receptor, caracteriza-se por promover a dispersão dos diversos poluentes lançados pelas fontes emissoras e estabelecem uma forma de ligação entre a fonte poluidora e o receptor. (Rosa et al. 2007)

Os poluentes atmosféricos sob condições de baixa umidade e temperatura, tendem a se concentrar e cair próximo à fonte emissora. Na presença de altas temperaturas e maior velocidade do vento o transporte dos poluentes pode atingir distâncias maiores, para então serem precipitados na superfície terrestre (Silva,1995). Os ventos predominantes são sudeste (SE) e Leste (E). Abaixo, na figura 2 podemos visualizar a Rosa dos Ventos dos anos de 2012/2013/2014 que confirmam a predominância para a direção sudeste. Quanto a velocidade dos ventos, através da Rosa dos Ventos, podemos verificar que a região se caracteriza por calmarias observadas principalmente em 2013 e 2014.

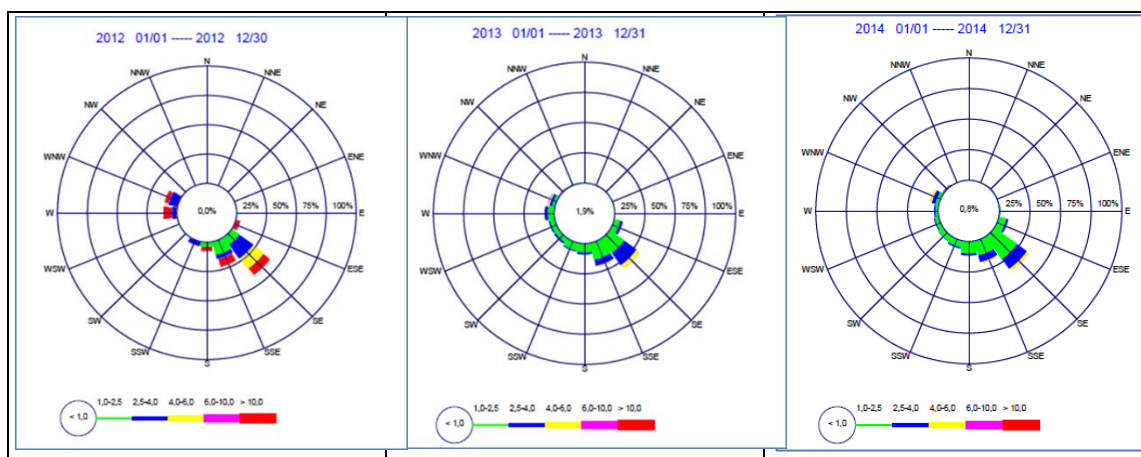


Figura 2. Rosa dos Ventos dos anos de 2012/2013/2014, Estação Meteorológica Usina Termelétrica Charqueadas.

*Figure 2. Rosa dos Ventos for the years 2012/2013/2014, Meteorological Station Charqueadas Power Plant.*

## 2.2 Materiais

A Usina Termelétrica de Charqueadas funcionou de 1962 a 2016, durante esse período passou por várias alterações tecnológicas com vistas a redução de poluentes atmosféricos. As atualizações mais recentes, datam de 2009, quando foram instalados os filtros de mangas, o que aumentou a eficiência do despoeiramento para 99,9% e foi instalado o lavador de gases FGD (*Flue Gas Desulfurization*) com eficiência de 90% na remoção dos gases de enxofre. A instalação desses equipamentos foi para atingir os limites de emissão, determinado no Licenciamento ambiental cujos valores corrigidos a 6% de oxigênio são os seguintes:  $\text{SO}_2$  400  $\text{mg}/\text{Nm}^3$ ,  $\text{NO}_x$  550  $\text{mg}/\text{Nm}^3$  e Material

particulado 80 mg/ Nm<sup>3</sup>. A partir de novembro de 2016 a Usina Termelétrica de Charqueadas encerrou as atividades de geração de energia e iniciou um processo de descomissionamento da planta térmica. As estações de monitoramento de qualidade do ar foram mantidas pela termelétrica até dezembro de 2018.

### 2.3 Métodos

Os dados de monitoramento utilizados neste estudo foram obtidos das estações de monitoramento de qualidade do ar operadas pela Usina Termelétrica de Charqueadas. Os pontos de coleta estão localizados em dois municípios distintos, uma das estações (AT - Arranca Toco) encontra-se instalada a cerca de 700 m à jusante do vento predominante (SE), em relação à usina e próximo ao centro urbano de Charqueadas, enquanto que a outra estação, denominada (DP – DEPREC), instalada a cerca de 7 km à jusante do vento predominante (SE) em relação à usina termelétrica, em uma pequena vila no município de Triunfo com predominância de área verde.

As amostras de Partículas Totais em Suspensão foram coletadas conforme os procedimentos previstos na norma ABNT – NBR Nº 9547/1998 através de amostrador de ar de grandes volumes denominado Hi-vol, os demais parâmetros amostrados foram realizados através de equipamentos automáticos, que se caracterizam pela capacidade de processar na forma de médias horárias, no próprio local e em tempo real, as amostragens realizadas a intervalos de cinco segundos. Estas médias são transmitidas e armazenadas em servidor de banco de dados.

Os métodos utilizados para medição dos parâmetros amostrados pelas estações de monitoramento são apresentados na tabela a seguir:

Tabela 01: Parâmetros amostrados e Metodologia de amostragem

Estação	Parâmetro	Metodologia
Arranca Toco	PM10(Partículas inaláveis)	radiação Beta
	SO2 (Dióxido de Enxofre)	fluorescência(ultravioleta)
	NOx (Óxidos de Nitrogênio)	quimiluminescência
	TSP(Partículas Totais em suspensão):	amostrador de ar de grandes volumes (Hi-Vo)l
	NOx (Óxidos de Nitrogênio)	quimiluminescência

Deprec	TSP(Partículas Totais em Suspensão): SO2 (Dióxido de Enxofre)	amostrador de ar de grandes volumes (Hi-Vol) fluorescência(ultravioleta)
--------	--	---

### 2.3.1 Análises dos dados obtidos

Os critérios de representatividade de dados utilizados para validação dos resultados são realizados de forma a garantir a qualidade dos resultados obtidos e obedeceram aos seguintes critérios, nos equipamentos automáticos foi considerada a média horária quando havia 3/4 das medidas válidas na hora. A média diária foi considerada válida quando 3/4 das médias horárias estavam válidas no dia.

No Equipamento de amostragem manual, Hi Vol, o resultado foi considerado válido quando houve pelo menos 16 h de amostragem e a Vazão contínua de amostragem ficou entre 1,13 e 1,70 m<sup>3</sup>/min.

As análises dos dados de qualidade do ar apresentadas consideram os períodos de curto prazo, ou seja, 1, 8 e 24 horas, conforme o poluente, e longo prazo, que neste caso é representado pelas médias anuais. No caso dos particulados, os valores diários são as médias das concentrações medidas ao longo do dia.

## 3 Resultados

O nível de poluição atmosférica é medido pela quantidade de substâncias poluentes presentes no ar. A variedade das substâncias que podem ser encontradas na atmosfera é muito grande, o que torna difícil a tarefa de estabelecer uma classificação. Para facilitar esta classificação, os poluentes são divididos em duas categorias:

Poluentes Primários: aqueles emitidos diretamente pelas fontes de emissão

Poluentes Secundários: aqueles formados na atmosfera através da reação química entre poluentes primários e componentes naturais da atmosfera. (CETESB, 2017)

A concentração dos poluentes na atmosfera não depende unicamente da concentração dos poluentes nela lançados. Há que se considerar também a distribuição e intensidade das emissões a influência da topografia do terreno e não menos importante as condições meteorológicas da região.

A seguir são apresentados os resultados do monitoramento de qualidade do ar na região de Charqueadas por grupo de poluente monitorado. A avaliação da qualidade do

ar foi efetuada considerando-se padrões nacionais de qualidade do ar estabelecidos na Resolução CONAMA nº 03/90.

Nos gráficos, apresentados a seguir, poderão ser observados os resultados obtidos no monitoramento da qualidade do ar realizado a partir do ano de 2010 até o ano de 2018, nas estações Arranca Toco e DEPREC.

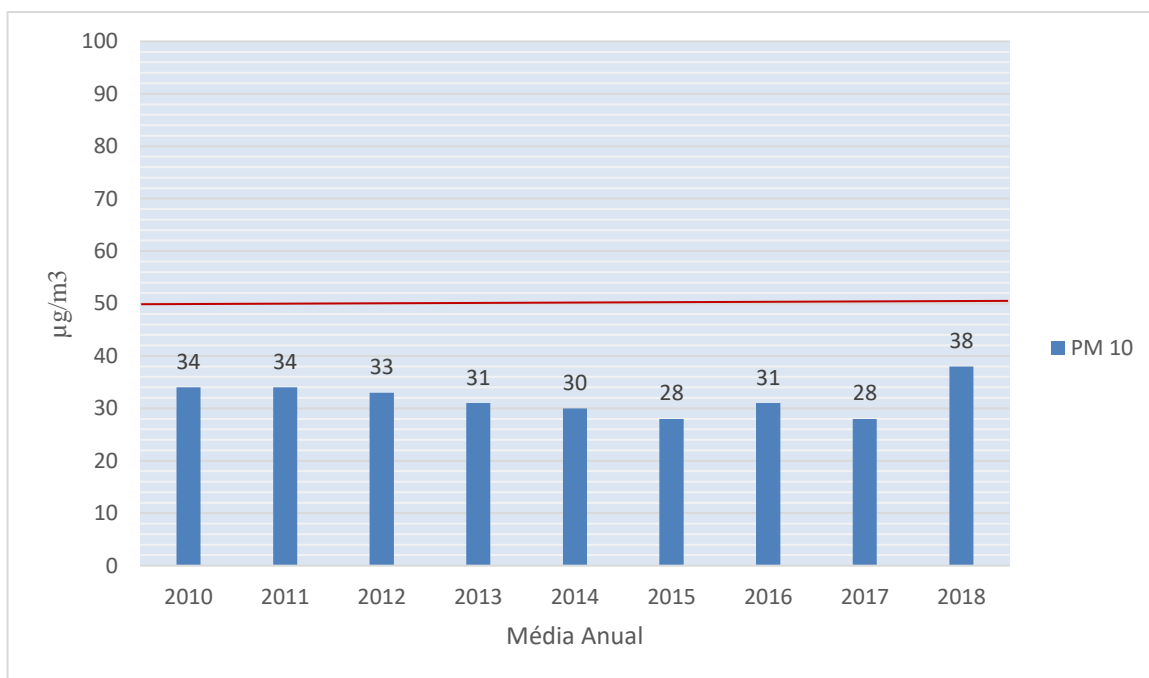


Figura 4: Resultados das Partículas Inaláveis (PM10) Média Aritmética Anual a partir de 2010 até agosto de 2018- Estação Arranca Toco (AT) comparada ao padrão secundário de qualidade do ar ( $50\mu\text{g}/\text{m}^3$ )

*Figure 4: Results of PM10 Average Annual from 2010 to August 2018 - Start Station Toco (AT) compared to the secondary air quality standard ( $50\mu\text{g} / \text{m}^3$ )*



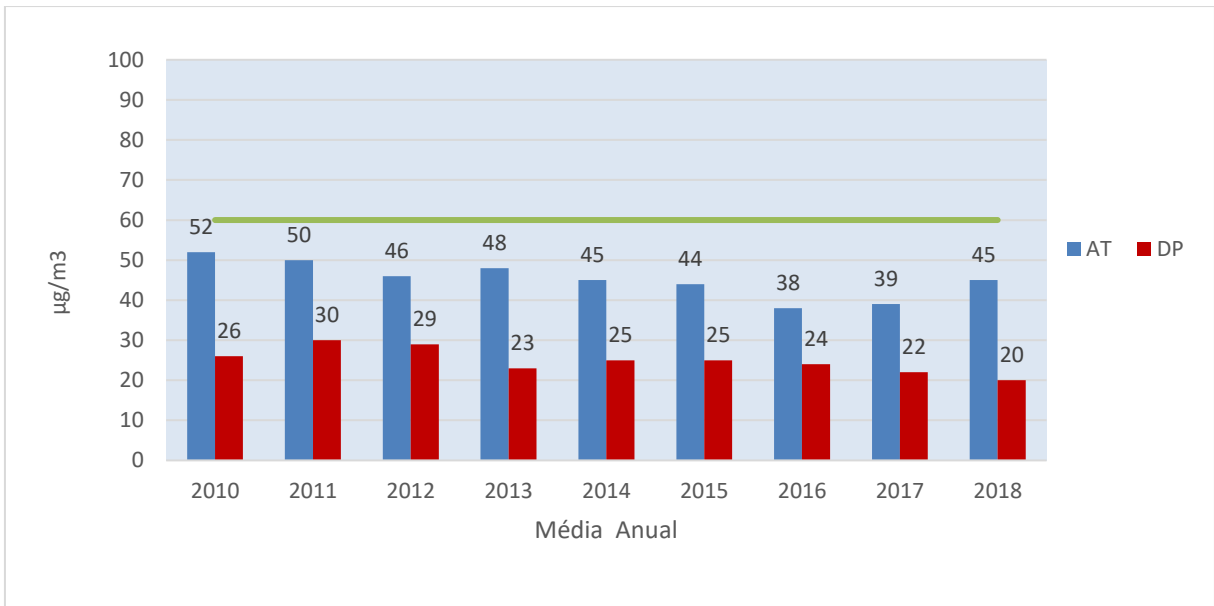


Figura 5: Resultados das Partículas Totais em Suspensão Estações Arranca Toco(AT) e Deprec (DP) Média Geométrica Anual dos anos de 2010 a 2018 ( até setembro) comparado ao padrão secundário de qualidade do ar ( $60\mu\text{g}/\text{m}^3$ )

*Figure 5: Results of Total Particles in Suspension Stations Arranca Toco (AT) and Deprec (DP) Annual Geometric Average of the years 2010 to 2018 (up to September) compared to the secondary air quality standard ( $60\mu\text{g} / \text{m}^3$ )*

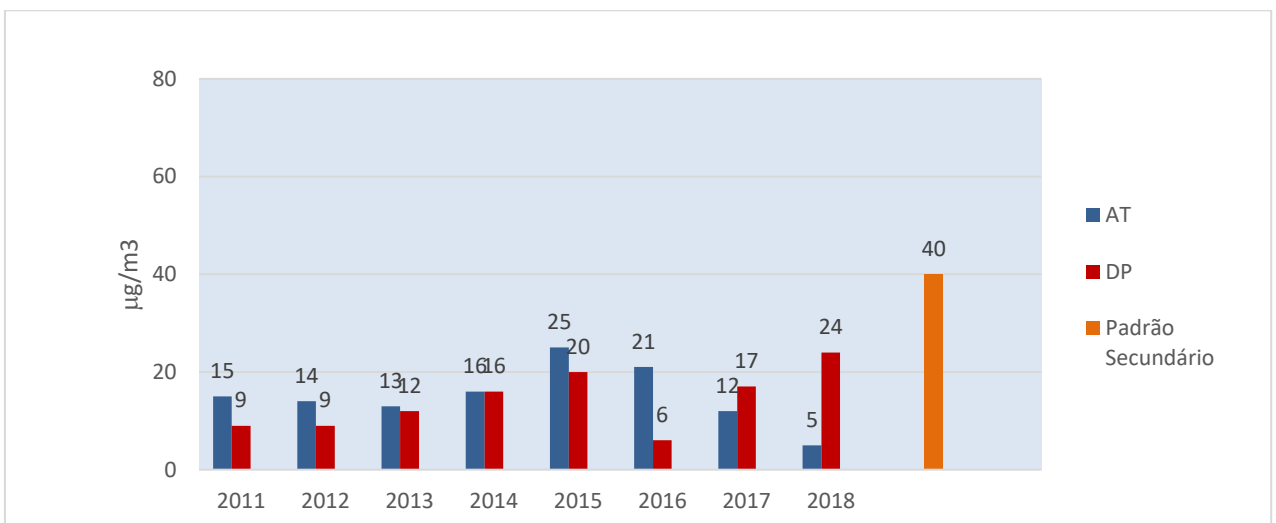


Figura 6: Resultados da Média Aritmética Anual de SO2 Estações Arranca Toco(AT) e Deprec (DP) comparado ao padrão secundário de qualidade do ar ( $40\mu\text{g}/\text{m}^3$ )

*Figure 6: Results of the Annual Arithmetic Mean of SO2 Stations Arranca Toco (AT) and Deprec (DP) compared to the secondary air quality standard ( $40\mu\text{g} / \text{m}^3$ )*

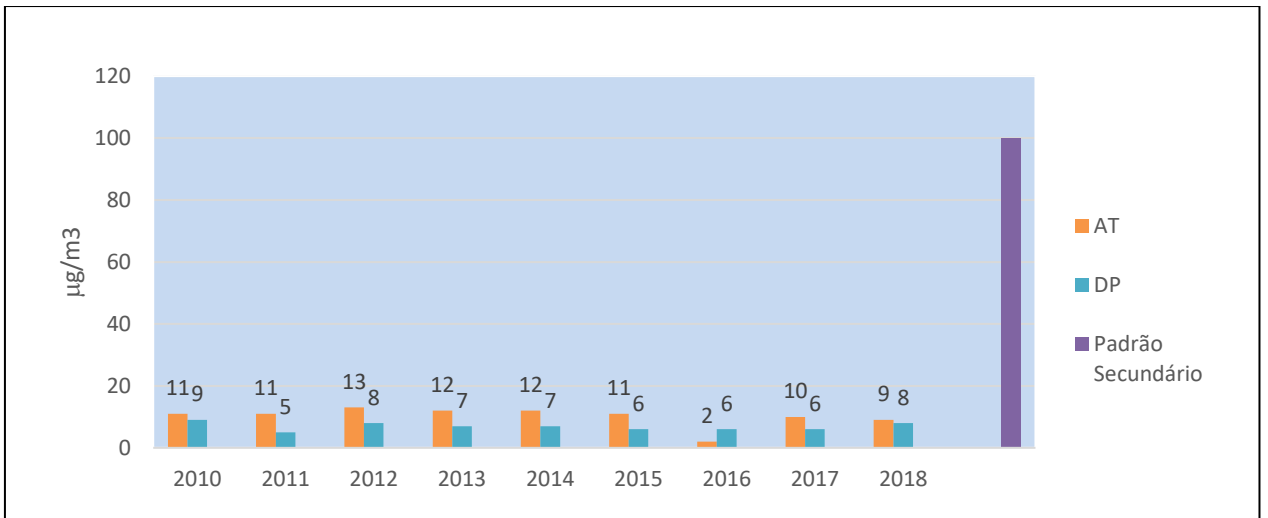


Figura 7: Resultados da Média Aritmética Anual de NO<sub>2</sub>, Estações Arranca Toco(AT) e Deprec (DP) comparado ao padrão secundário de qualidade do ar (100µg/m<sup>3</sup>)

Figure 7: Results of the Annual Arithmetic Mean of NO<sub>2</sub> of Stations Arranca Toco (AT) and Deprec (DP) compared to the secondary air quality standard (100µg / m<sup>3</sup>)

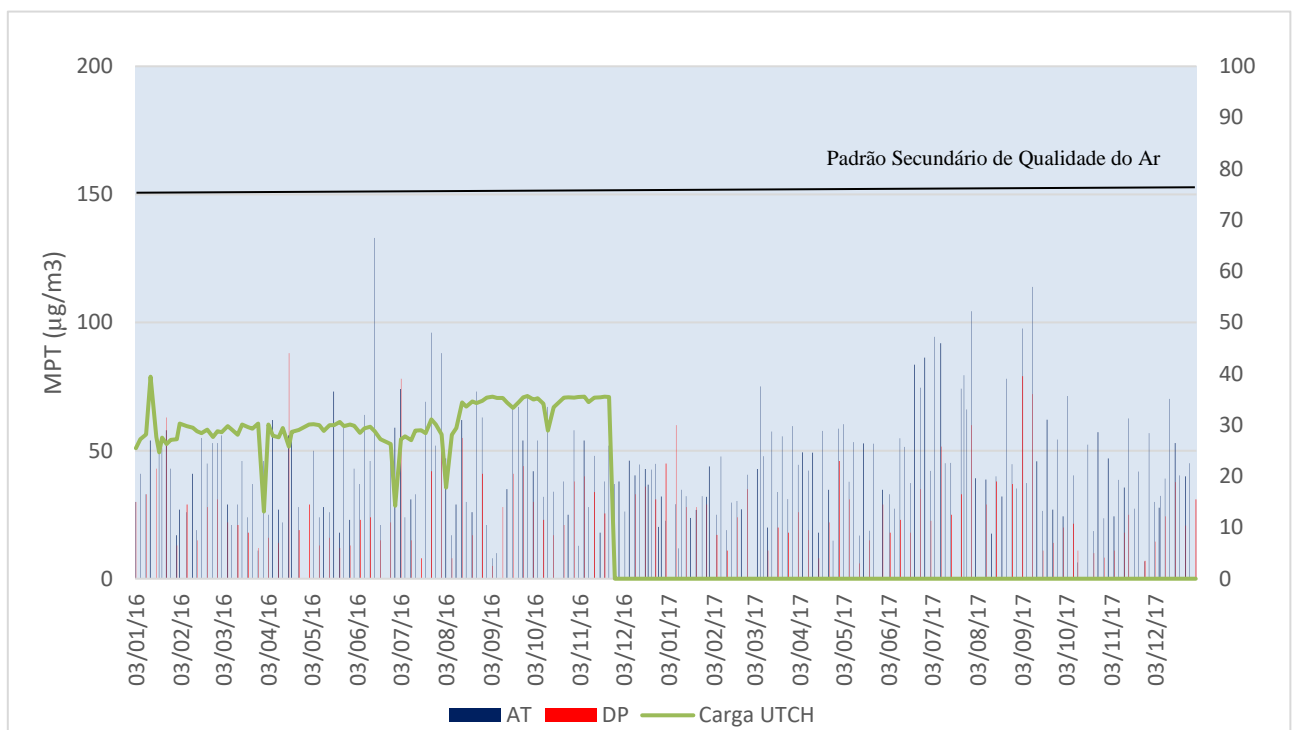
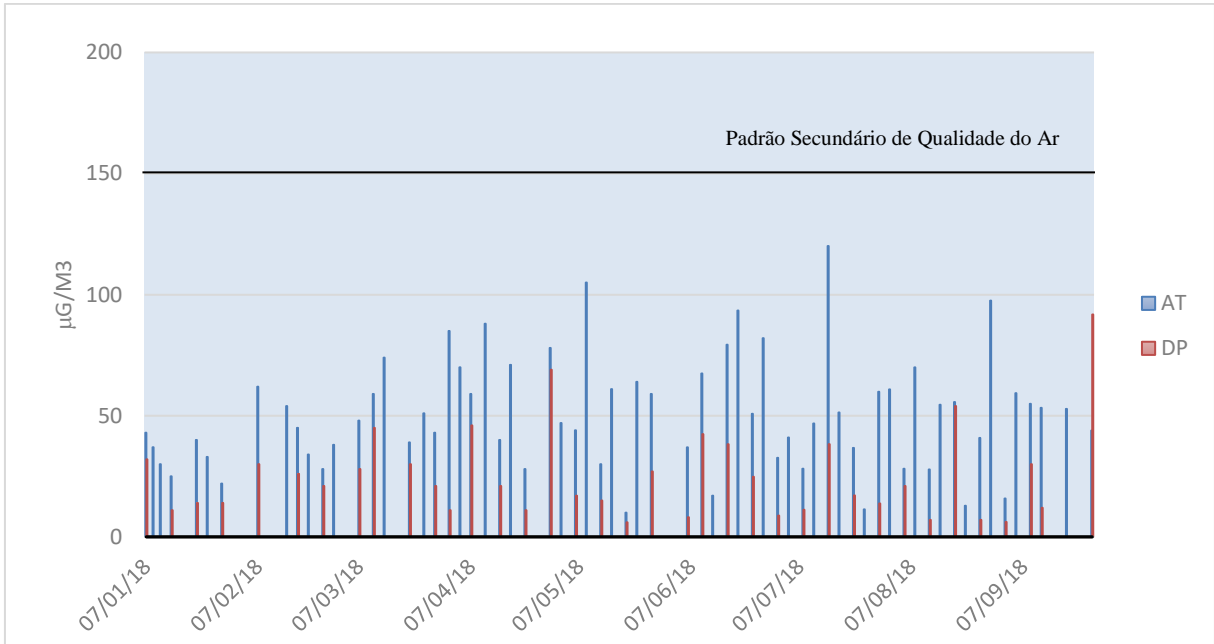


Figura 8: Resultados da média diária das Partículas Totais em Suspensão 2016 e 2017 Estações Arranca Toco (AT) e Deprec (DP), Carga da usina MWh e o padrão secundário de qualidade do ar (150µg/m<sup>3</sup>).

*Figure 8: Daily average results of Suspended Total Particles 2016 and 2017 Stations Arranca Toco (AT) and Deprec (DP), MWh plant load and secondary air quality standard ( $150\mu\text{g} / \text{m}^3$ ).*



**Figura 9: Resultados das Partículas Totais em Suspensão 2018 Estações Arranca Toco (AT) e Deprec (DP), com usina fora de operação e o padrão secundário de qualidade do ar ( $150\mu\text{g}/\text{m}^3$ ).**

*Figure 9: : Daily average results of Suspended Total Particles 2016 and 2017 Stations Arranca Toco (AT) and Deprec (DP), MWh plant load and secondary air quality standard ( $150\mu\text{g} / \text{m}^3$ ). standard ( $150\mu\text{g} / \text{m}^3$ ).*

#### **4 Discussão dos resultados**

As partículas inaláveis PM10 são monitoradas somente na Estação Arranca Toco, a média aritmética anual dos dados obtidos nesta estação mostra que os dados de PM10 estão dentro dos padrões de qualidade requerido que é de  $50\mu\text{g}/\text{m}^3$  (CONAMA 03/1990) no período avaliado. Na média anual para os anos de 2015 e 2017 em alguns períodos o medidor de PM10 não estava operacional, sendo que em 2017 não foram gerados dados suficientes para o cálculo da média aritmética anual como recomenda a metodologia (>75%). Se compararmos a média de PM10 dos anos de 2017 e 2018 com a média anual de 2016, observaremos que em 2017 houve uma redução em torno de 9% de PM10 enquanto que no ano de 2018 houve um acréscimo de 22%, mesmo com a usina fora de operação. Nessa avaliação deve ser considerada a falta de dados em ambos períodos,

ocasionadas pelos problemas operacionais em 2017 e pela avaliação de 2018 ter sido realizada antes do término do ano, prejudicando a coleta de dados.

Por esse motivo é necessário que os dados de 2018 sejam complementados após o término do ano.

As médias mensais, mostram a variação sazonal do poluente indicando valores mais elevados de PM10 nos meses de maio a setembro, resultados possivelmente influenciados por fenômenos típicos dessa época como a inversão térmica.

As médias diárias (gráficos não apresentados) estão dentro dos limites previstos na legislação, em um tempo de amostragem de 24 h, observa-se uma média diária com o valor acima do padrão de média diária, no mês de outubro no ano de 2011 ( $240\mu\text{g}/\text{m}^3$ ), na ocasião da chegada das cinzas do vulcão Chileno Puyehue Córdoniva Caulle cujas cinzas finas atingiram Porto Alegre e região metropolitana nos meses de junho e outubro de 2011. (CARDOSO et al 2013; FEPAM, 2014).

A média geométrica anual mostra uma elevação dos particulados sólidos em suspensão na atmosfera na estação AT no ano de 2018, mesmo sem as emissões da usina, enquanto que os dados obtidos na Estação Deprec mostram uma redução progressiva em relação ao último ano de operação da Usina, chegando a 20% no ano de 2018.

Quando se analisa as amostragens de 24 horas das partículas totais em suspensão, observa-se que os meses de maior concentração são os meses de outono e inverno indicando que a inversão térmica recorrente nos meses de inverno contribui para o aumento da concentração desse poluente, mesmo assim os resultados pontuais das médias de 24h permanecem dentro dos limites do padrão secundário, definido pela Resolução CONAMA 03/90.

Quanto ao poluente dióxido de enxofre ( $\text{SO}_2$ ), no período avaliado, não houve ultrapassagem do Padrão de Qualidade do Ar anual ( $40\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) em nenhuma das estações de monitoramento avaliadas, embora tenha se observado uma elevação nos valores da estação DEPREC, da ordem de 25% mesmo sem a emissão da usina, enquanto que na Estação AT, mais próxima da termelétrica, houve uma redução de 24% na concentração desse poluente na atmosfera, na média do ano de 2018, quando comparado a média anual de 2016

A média anual do dióxido de nitrogênio monitorado nas estações está abaixo do padrão estabelecido pela Resolução CONAMA 03/90 nas duas estações, há pouca alteração nas médias anuais após a paralisação das atividades da usina, salientando-se uma leve elevação da média anual da Estação Deprec.

## 5 Conclusões

A poluição do ar é um problema muito comum em grandes cidades e está associada, não só as emissões das fontes fixas, mas também com a queima de combustíveis fósseis utilizados pelos automóveis.

As atividades de geração de energia da termelétrica foram paralisadas em novembro de 2016, não sendo mais emitidos poluentes na atmosfera decorrentes da queima do carvão na usina desde então.

Na avaliação dos poluentes primários abordados neste trabalho e que estão relacionados com a geração termelétrica observamos que a qualidade do ar encontrada no período em que a usina estava operando, encontrava-se dentro dos padrões considerados na CONAMA 03/90.

Com base nos dados de amostragem, no período analisado se observa que houve variação da qualidade do ar nas estações monitoradas após o término das operações da termelétrica com redução de alguns parâmetros e elevação de outros, destacando-se a alteração mais significativa, que foi a redução da concentração do  $\text{SO}_2$  monitorado na estação AT, mais próxima da usina e elevação na concentração do  $\text{SO}_2$  monitorado na estação DP ambas estações apresentaram variação na ordem de 24%. A variação de particulados demonstra uma tendência de redução desse poluente na estação mais distante e elevação na estação mais próxima da usina. Quanto ao  $\text{NO}_2$  observa-se uma leve elevação na Estação DEPREC, após a paralisação das atividades da usina termelétrica.

Convém ressaltar que o monitoramento é uma ferramenta de avaliação que auxilia o poder público na gestão da qualidade do ar e é importante lembrar que os padrões de qualidade, embora padronizem os níveis aceitáveis de poluição de uma área, não levam em conta a contribuição de cada fonte poluidora, dificultando a fiscalização, visto que a concentração de poluentes no ar ambiente é o somatório das várias fontes emissoras, tanto fixas como móveis.

Agradecemos a Usina Termelétrica de Charqueadas pela disponibilização dos dados de qualidade do ar obtidos nas estações mantidas e operadas pela empresa.

## Referências bibliográficas

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 9547: Material particulado em suspensão no ar ambiente - Determinação da concentração total pelo método do amostrador de grande volume - Método de ensaio. Rio de Janeiro, 1986. 14 f.
- Arbex, M.A., Santos, U., Martins, L.C., Saldiva, P.H.N., Pereira, L.A.A., Braga, A.L.F. 2012 A poluição do ar e o sistema respiratório, J. bras. pneumol. vol.38 no.5 São Paulo Sept./Oct. 2012
- ANEEL - Agência Nacional de Energia Elétrica (Brasil).Atlas de energia elétrica do Brasil / Agência Nacional de Energia Elétrica. – Brasília : ANEEL, 2002. 153 p. : il. Energia elétrica – Atlas - Brasil. 2. Potencial energético – Atlas –
- Cardoso, N.C.; Silva, I.M.C.O.; Carvalho, C.T.; Soares, N.B.; Rodrigues, M.L.K.; 2014. Avaliação do Teor de Material Particulado Atmosférico inalável (MP10) na Região Metropolitana de Porto Alegre no Período 2010 – 2012. In: IX Simpósio Internacional de Qualidade Ambiental, 150p.
- CETESB -Qualidade do ar no estado de São Paulo 2017; Disponível em: <<http://cetesb.sp.gov.br/ar/publicacoes-relatorios/>>.
- CONAMA. Conselho Nacional do Meio Ambiente. Estabelece padrões de qualidade do ar, previstas no PRONAR – Programa Nacional de Controle de Qualidade do ar. Resolução nº 03 de 28 de junho de 1990. Diário Oficial da União, Brasília - DF, Seção 1:15937. 22 de agosto de 1990
- EPE Empresa de Pesquisa Energética Balanço Energético Nacional 2013: Ano Base 2012 – BEN 2013. Disponível em: [www.epe.gov.br](http://www.epe.gov.br)
- Ferraro L.V., Hazenack H. 2000. Clima. In: Vassiliou, M. & Dick, T (eds.) Carvão e Meio Ambiente. Centro de Ecologia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre. p.:23-44.
- IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, Estatísticas, Acesso em março 2017,. Disponível em: [www.ibge.gov.br](http://www.ibge.gov.br)

- JAPAN INTERNATIONAL COOPERATION AGENCY (JICA), 1997. The Study on evaluation of environmental quality in regions under influence of coal steam power plants in Federal Republic of Brazil, Final Report, Tokyo, Japan.
- Lyons, T.J. and Scott, W.D. (1990) Principles of air pollution meteorology. Bellhaven Press, London, UK
- Nelson, P.F., VladStrezov,P., Halliburton,B., Carras, J.N. Environmental impacts of coal combustion: A risk approach to assessment or emissions, Fuel Volume 89, Issue 4, April 2010, Pages 810-816
- Rosa, A., Folle, D., Tissot,R., Bassani,R., 2007 Gestão da Qualidade do Ar para Empreendimento Termelétrico e Percepção da População local do seu Entorno quanto a Qualidade do Ar Local – Estudo de Caso. Trabalho de Conclusão do Curso de Especialização em Gestão para a Qualidade do Meio Ambiente, Instituto do Meio Ambiente, Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul.132p.
- Pires, Marçal, Haidi, Fielder, Teixeira, Elba C. 2002. Distribuição geoquímica de elementos traço em carvão, Capítulo 12, In: Meio Ambiente e Carvão: Impactos da exploração e utilização. Teixeira, E.C., Pires, M.J.R., (Eds.). Cadernos de Planejamento e Gestão Ambiental, FEPAM, Porto Alegre. p. 237-252.
- Seinfeld, J.H -Atmospheric Chemistry and Physics of Air Pollution. Wiley, 1986 .
- Silva, E.S.B Dispersão Atmosférica das Emissões Aéreas da Usina Termelétrica de Charqueadas (ELETROSUL). 1995. 85 f. Monografia de graduação (Carvão e meio ambiente) Faculdade de Ecologia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1995

## **2.2 ARTIGO 3 Análise e Dispersão (CAL PUFF) de Elementos Traço em Usina a Carvão**

**Submetido para** Anuário do Instituto de Geociencias - UFRJ



# ANÁLISE E DISPERSÃO (CAL PUFF) DE ELEMENTOS TRAÇO EM USINA A CARVÃO

## ANALYSIS AND DISPERSION (CALPUFF) OF TRACE ELEMENTS IN COAL THERMOELECTRIC POWER PLANT

Rita Clarice Machado Tissot<sup>1</sup>; Rita de Cássia Marques Alves<sup>2</sup>; Marçal Pires<sup>3</sup>; Renato Barbosa<sup>4</sup>& José Lourival Magri<sup>5</sup>

<sup>1</sup> Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Av. Bento Gonçalves, 9.500, CEP 91.540-000, Porto Alegre, RS Brasil Programa de Pós- Graduação em Sensoriamento Remoto, Área de Concentração Sensoriamento Remoto e Geoprocessamento

<sup>2</sup> Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Av. Bento Gonçalves, 9.500, CEP 91.540-000, Porto Alegre, RS Brasil Instituto de Geociências da

<sup>3</sup> Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul, AV. Ipiranga, 6681 CEP 90.619-900 Porto Alegre, RS Brasil Escola de Ciências,

<sup>4</sup> Engie Brasil Energia – Usina Termelétrica de Charqueadas, Rua Geólogo White s/nº CEP 96.745-000 Charqueadas, RS Brasil

<sup>5</sup> Engie Brasil Energia – Meio Ambiente e Responsabilidade Social, Rua Paschoal Apóstolo Pítsica, 5064; CEP 88025-255 - Agronômica; Florianópolis, SC Brasil E-mail:

E-mail: [ritactissot@gmail.com](mailto:ritactissot@gmail.com); [rita.cma@terra.com.br](mailto:rita.cma@terra.com.br); [mpires@pucrs.br](mailto:mpires@pucrs.br); [renato.barbosa@engie.com](mailto:renato.barbosa@engie.com); [jose.magri@engie.com](mailto:jose.magri@engie.com)

### Resumo

O presente trabalho objetivou avaliar a partição, captura, emissão e dispersão dos elementos traço presentes no carvão, durante o processo de combustão do carvão pulverizado em termelétrica equipada com Filtro de mangas e lavador de gases. O estudo demonstrou que os elementos Fe, Ni, Cr, Mn e V tiveram a concentração reduzida após a passagem pelo lavador de gases, enquanto que Pb, Se, Co, Cu, Ti foram completamente retidos pelo lavador. A dispersão foi realizada através do modelo CALPUFF para os poluentes SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, Material particulado e para os elementos Cr, Fe, Mg, Mn e Ni. Com base nos resultados da modelagem atmosférica os poluentes partículas inaláveis (PM<sub>10</sub>), dióxido de enxofre (SO<sub>2</sub>) e dióxido de nitrogênio (NO<sub>2</sub>), tiveram concentrações que representam de 1 a 9% do padrão de qualidade do ar desses parâmetros. A distribuição dos elementos traço emitidos apresentou a mesma distribuição do material particulado.

Palavras – chave: carvão; elementos traço; CALPUFF dispersão

## Abstract

The present work aims to evaluate the partitioning, capture, emission and dispersion of trace elements present in the coal, during the combustion process of pulverized coal in a thermoelectric power plant equipped with a bag filter and a gas scrubber. The study showed that Fe, Ni, Cr, Mn and V had the reduced concentration after passage through the gas scrubber, while Pb, Se, Co, Cu, Ti were completely retained by the scrubber. The dispersion was carried out through the CALPUFF model for pollutants SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, particulate matter and Cr, Fe, Mg, Mn and Ni elements. Based on the results of atmospheric modeling, the pollutants inhalable particles (PM<sub>10</sub>), sulfur dioxide (SO<sub>2</sub>) and nitrogen dioxide (NO<sub>2</sub>) had concentrations representing 1 to 9% of the air quality standard of these parameters. The distribution of the emitted trace elements presented the same distribution of the particulate material.

Keywords: coal elements trace; CALPUFF; dispersion

### 1. Introdução

O desenvolvimento econômico do mundo ainda depende fortemente do uso de fontes de energia a partir de combustíveis fósseis. Neste contexto, o carvão em 2017 como principal fonte de produção de energia teve o primeiro crescimento na produção e consumo desde 2013 BP Statistical Review (2018).

No Brasil, os Estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina, na região sul do Brasil, são as regiões que concentram as grandes reservas de carvão fóssil CEM/RS (1988).

Pelas características de baixo poder calorífico dos carvões fósseis sul brasileiros, a sua utilização tem sido direcionada preferencialmente para a geração de vapor, em termelétricas Mallmann & Zwonok (2011).

A preocupação ambiental associada ao uso do carvão inclui: Emissões de gases e particulados do processo de combustão, principalmente NO<sub>x</sub>, SO<sub>2</sub> e elemento traço; Emissões de CO<sub>2</sub> e suas implicações no aquecimento global Nelson *et al.* (2010).

No Brasil existem muitos estudos relacionados as características químicas do carvão

e das cinzas produzidas nos processos de combustão, no entanto não foram encontrados na literatura trabalhos de pesquisa da distribuição dos elementos químicos nas diferentes correntes do processo de combustão e tratamento dos gases.

Dispositivos de controle de particulados convencionais, tais como precipitadores ou filtros de manga são eficazes na captura geral dos elementos na corrente do particulado como As, Cd, Cr, Ni e Pb. Uma combinação de tecnologia de controle de partículas e FGD (*Flue Gas Desulfurization*) pode auxiliar na captura de outros elementos traço IEA, (2012).

O presente estudo tem como objetivo avaliar a partição e captura, emissão e dispersão dos elementos traço presente no carvão, durante o processo de combustão do carvão pulverizado em termelétrica equipada com Filtro de mangas e lavador de gases. Através da quantificação dos elementos químicos nas diferentes correntes do processo de queima de carvão pulverizado e nas emissões, considerando a dispersão dos poluentes gasosos e elementos químicos emitidos na atmosfera através do modelo matemático Cal Puff.

Na China, Zhao *et al.* (2017) realizaram um teste de campo em seis usinas de energia para estudar as características de emissão de Cd, Pb, e Mn da combustão de carvão, cujos resultados mostraram que FGD úmido combinado com dispositivos de controle de partículas remove de 94,9 a 98,2% do Pb, 98,9 a 99,9% do Cd e 99,9% do Mn no gás de combustão.

## 2. Usina Termelétrica de Charqueadas

A usina termelétrica de Charqueadas (UTCH), situa-se à margem direita do Rio Jacuí, no município de Charqueadas, Rio Grande do Sul, com capacidade total instalada de 72 MW, a usina operou de 1962 a novembro de 2016, durante esse período, passou por várias alterações tecnológicas com vistas a redução de poluentes atmosféricos. As atualizações

mais recentes, datam de 2009, quando foram instalados os filtros de mangas, o que aumentou a eficiência do despoeiramento para 99,9% e a instalação do lavador de gases FGD (*Flue Gas Desulfurization*) com eficiência de 90% na remoção dos gases de enxofre.

O carvão utilizado no processo de geração termelétrica na UTCH era proveniente das minas do Baixo Jacuí, com alto teor de cinzas e baixo poder calorífico, decorrente da queima do carvão resultam as cinzas leves e pesadas, numa proporção de aproximadamente 75/25%, respectivamente.

O princípio básico de funcionamento dos filtros de manga é bastante simples, constituindo-se em fazer passar o gás de combustão com cinzas através de um compartimento, onde estão localizados os filtros. As eficiências de remoção das cinzas são elevadas, atingindo valores acima de 99,9 %.

O lavador de Gases – FGD é utilizado para reduzir a emissão de SO<sub>2</sub> - oriundos da combustão do carvão. A neutralização do SO<sub>2</sub> se baseia na injeção de reagentes básicos. O agente dessulfurante escolhido para a Usina de Charqueadas, foi o Calcário calcítico (CaCO<sub>3</sub>). O carbonato de cálcio reage com o SO<sub>2</sub> para produzir sulfato de cálcio hidratado (gesso), produto utilizado na construção civil.

A Usina de Charqueadas foi a primeira termelétrica a aplicar a combinação das tecnologias de Filtro de manga e lavador úmido para a redução de poluentes atmosféricos no Brasil, com o objetivo de redução das emissões atmosféricas, para atender aos padrões de emissão estabelecidos para a usina térmica.

### 3. Área de Estudo

O município de Charqueadas situa-se na configuração topográfica da Depressão Central do estado do Rio Grande do Sul, faz parte da microrregião carbonífera situada na porção oriental do Baixo Jacuí. O clima da bacia do Baixo Jacuí é do tipo mesotérmico, conforme a classificação de Köppen, caracterizada por temperaturas compreendidas entre

-3 e 18°C no mês mais frio e superior a 22°C no mês mais quente, quanto a precipitação possui totais anuais superiores a 1.200 mm bem distribuídos ao longo do ano. Os ventos predominantes são de Sudeste, com maior intensidade nos meses de primavera e a umidade relativa do ar é alta o ano inteiro, sempre maior que 70%, em função do alto teor de umidade das massas atuantes Ferraro & Hazenack (2000).

Nessa região estão instaladas duas estações de monitoramento da qualidade do ar, localizadas em dois municípios distintos, uma das estações (AT - Arranca Toco) encontra-se instalada a cerca de 700 m à jusante do vento predominante (SE), em relação à usina e próximo ao centro urbano de Charqueadas, enquanto que a outra estação, denominada (DP – DEPREC), instalada a cerca de 7 km à jusante do vento predominante (SE) em relação à usina termelétrica, em uma pequena vila no município de Triunfo com predominância de área verde.

#### 4. Metodologia

As amostragens para as análises de elementos traço foram realizadas nos dias 16/09/16, 22/09/2016 e 23/09/2016, datas programadas pela Usina para amostragens das emissões atmosféricas e particulados na saída dos filtros manga.

No dia 16/09/2016 foram coletadas amostras de carvão, cinzas leves, cinzas pesadas, gesso, água de circulação do lavador e emissões, na saída do FGD. Nos dias 22 e 23 /09/2016 foram coletadas amostras de carvão, cinzas leves, cinzas pesadas, gesso e particulados na saída do filtro de mangas, antes da passagem do gás pelo lavador.

##### 4.1 Métodos de amostragem

###### 4.1.1 Amostragem de Carvão

Nas amostras representativas do abastecimento diário de carvão foram realizadas as análises de elementos traços, os procedimentos de preparação da amostra são baseados na norma 8292 da ABNT.

#### 4.1.2 Amostragem de Emissões

As amostragens das emissões foram executadas conforme metodologia: ABNT – NBR, CETESB, e US EPA para dutos e chaminés de fontes estacionárias.

#### 4.1.3 Amostragem de cinzas pesadas, cinzas leves, água de recirculação, lodo do FGD e gesso

Durante a amostragem das emissões foram realizadas coletas de amostras de cinzas pesadas, cinzas leves, água de recirculação, lodo do FGD e gesso. Foram coletadas amostras de 200 – 500 g em cada ponto de amostragem selecionado. Na figura 2 estão indicados os principais locais de coleta das amostras:

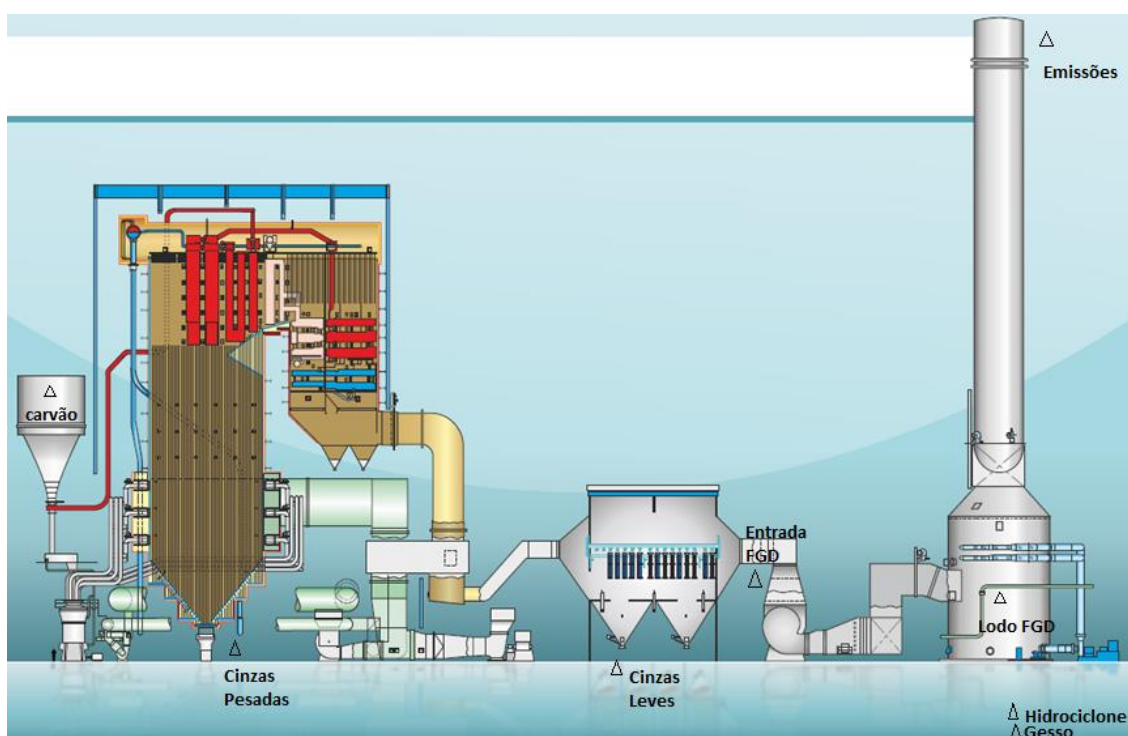


Figura 2 Fluxograma da usina com sinalização dos locais de coleta de amostra para análise dos elementos traço. Fonte: UTCH 2014

#### 4.1.4 Métodos de Análise dos elementos traço

As amostras coletadas foram encaminhadas ao laboratório para a análise química dos elementos Be, Bi, Cd, Pb, Co, Cu, Cr, Sn, Fe, Li, Mg, Mn, Mo, Ni, Ag, Se e Ti.

A extração dos elementos químicos das amostras foi realizada baseada na

metodologia EPA 3015A. A análise dos elementos foi feita através do método de espectrometria de massas com fonte de plasma indutivamente acoplada (ICP-MS) .O sistema ICP-MS tem se tornado mais fácil de configurar para análises de rotina, podendo ser completamente automatizado Loureiro (2015).

#### 4.1.5 Metodologia para cálculo da modelagem da dispersão dos elementos menores

A análise da dispersão de poluentes na atmosfera requer conhecimento das fontes emissoras e está relacionado com a meteorologia, cujos fenômenos são consequência da interação de forças fundamentais da natureza: gradiente de pressão, gravidade, rotação da terra e atrito interno Moraes (2010).

Nesse estudo foi utilizado o *California Puff Model* (CALPUFF), que é um modelo de dispersão Lagrangeano não estacionário que permite validar um campo de concentração, simulando o transporte, a transformação e a remoção de poluentes na atmosfera a partir de condições meteorológicas variáveis no espaço e no tempo Scire *et al.* (2010).

O modelo CALPUFF foi originalmente desenvolvido pela *Sigma Research Corporation* (SRC) no final da década de 1980, e foi publicado pela primeira vez em cerca de 1990 EPA (2018).

O modelo CALPUFF acoplado ao modelo CALMET forma um sistema conhecido, e largamente utilizado hoje ao redor do mundo, como CALMET/CALPUFF e inclui três principais componentes: CALMET (um modelo meteorológico diagnóstico tridimensional), CALPUFF (o modelo de dispersão propriamente dito), e CALPOST (um programa de pós-processamento, o qual, produz os gráficos com isolinhas de concentrações e os relatórios das simulações, com opções para calcular o tempo médio das concentrações e fluxos de deposição)

## 5 Resultados e Discussão

### 5.1 Qualidade das matéria-prima

Os carvões são diferentes pelas características de poder calorífico, concentrações de enxofre, material volátil, umidade e distribuições granulométricas, de modo que os materiais obtidos das minas têm características próprias, pois cada jazida de carvão tem um histórico diferente de formação Rigotti (2012).

Os carvões da área que abrange a região considerada como Baixo Jacuí, entre Charqueadas e Minas do Leão, são carvões classificados como sub-betuminosos Sundstron (2012).

O calcário utilizado na termelétrica para o processo de dessulfuração dos gases era o calcário calcítico.

### 5.2.Partição dos elementos químicos no processo de combustão

Os elementos traço são emitidos à atmosfera na forma sólida (cinza leve) e no estado gasoso. A emissão nos sólidos é baixa, devido ao alto grau de remoção dos equipamentos de remoção como precipitadores e filtro mangas. A emissão na fase gasosa é relativamente mais importante. Em plantas equipadas com FGD ambas emissões são reduzidas Meij & Winkel (2007).

A volatilidade dos elementos traço pode ser estimada, mas diferenças na temperatura de combustão, excesso de ar e tempo de residência na caldeira são fatores que, somados a grande variação nos elementos dificultam a previsão de partição dos mesmos nos resíduos da combustão Pires et. al (2002).

Para descrever o comportamento dos elementos foi introduzido o cálculo do enriquecimento, que visa normalizar a variação de determinadas características do carvão, como umidade e teor de cinzas. O ER- Enriquecimento Relativo no qual se leva em conta os teores do elemento em estudo no resíduo e no carvão, bem como o teor de cinzas (%) desse último Meij (1994).



O cálculo de ER é definido:  $ER = [C_{\text{cinzas}}/C_{\text{carvão}}] / [\% \text{Cinzas}/100]$ .

Diferentes métodos analíticos podem ser utilizados para a determinação da concentração de elementos químicos. A metodologia e técnica instrumental utilizada, deve ter elevada sensibilidade além de possibilitar medidas rápidas e confiáveis Rosini et.al (2006).

Além das amostras de carvão cinza leve e pesada, outro ponto de coleta utilizado neste estudo, foi a saída do Filtro mangas, onde a coleta foi feita através da amostragem isocinética.

Nesse local está o particulado no gás que entra no FGD para ser lavado. Tecnicamente estes elementos são aqueles agregados a partículas muito finas cujo FM não foi capaz de reter e corresponde a 0,01% da cinza leve gerada na combustão.

Para a coleta desse material é necessário utilizar filtros de fibra de vidro que, naturalmente possuem um determinado nível de contaminação, que por sua vez reflete a dificuldade de quantificação dos elementos traços aderidos a esse material.

A coleta de amostra para análise de elementos traço nas emissões foi realizada através dos filtros das amostragens isocinéticas e da mesma forma que a análise das amostras da entrada do FGD, estas amostras também estão sujeitas a contaminação dos constituintes do filtro.

A coleta foi realizada no dia 16/09/2016, as emissões dos poluentes medidos nessa amostragem (tabela 1) estava dentro dos padrões determinados para a Usina térmica.

Tabela 1 Resultados da amostragem isocinética na saída do FGD para a atmosfera comparado ao padrão de emissão

Poluente	mg/Nm <sup>3</sup> - 6% O <sub>2</sub>	Padrão de emissão mg/Nm <sup>3</sup> - 6% O <sub>2</sub>
Material particulado	73,43± 48	80
SO <sub>2</sub>	326± 32,04	400
NO <sub>2</sub>	217,44± 44,81	550

A figura 3 representa graficamente os elementos químicos analisados em todas as correntes do processo.

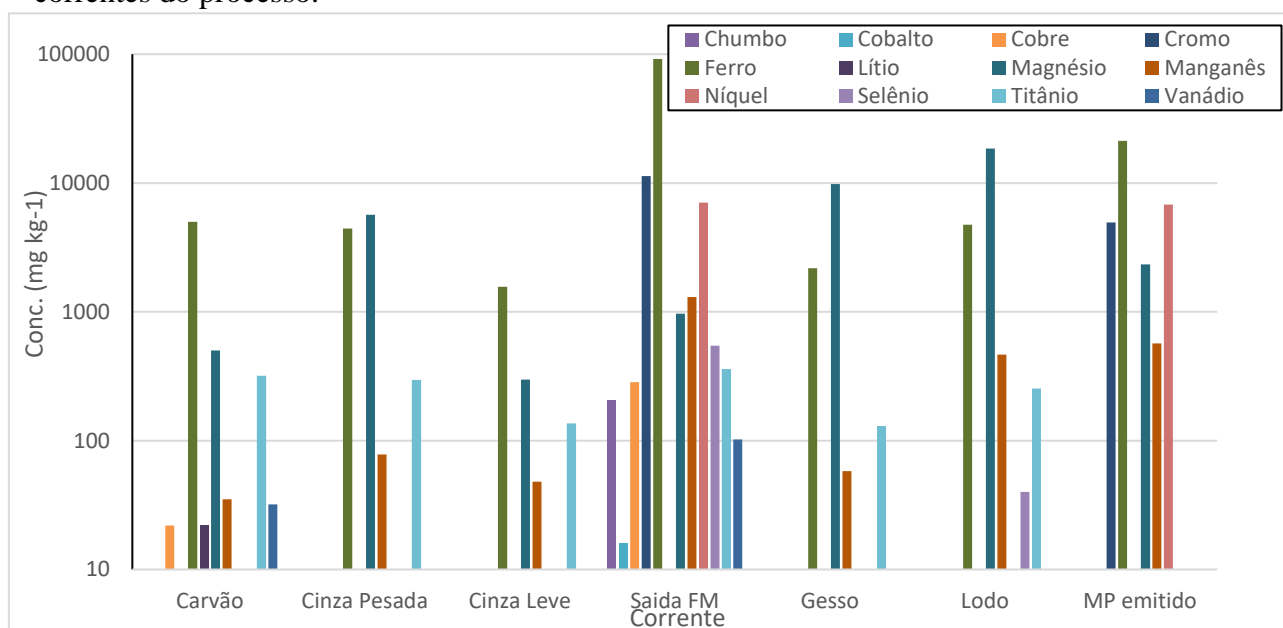


Figura 3 Concentração média dos elementos traço nas diferentes correntes do processo da UTCH.

Através do gráfico é possível visualizar que o elemento ferro é o elemento preponderante em todas as correntes analisadas, há o enriquecimento de alguns elementos que não foram detectados ou quando detectados estão em baixa concentração no carvão e aparecem em concentrações mais elevadas nas cinzas leve e pesada e nas partículas finas do particulado coletado na saída do Filtro manga. O estudo mostrou que os elementos Fe, NI, Cr, Mn e V tiveram a concentração reduzida após a passagem pelo lavador de gases, enquanto que Pb, Se, Co, Cu, Ti foram completamente retidos. O Mg foi o elemento que apresentou a maior concentração na emissão provavelmente devido à

alta concentração no calcário. Observa-se ainda que o Se foi integralmente incorporado ao lodo do FGD que agregou também parte do Fe, Mg, Mn e Pb. Parte do selênio e titânio, ficaram retidas na água de circulação do hidrociclone. O gesso apresenta uma composição similar ao lodo, excetuando-se o elemento Se, que não foi detectado na amostra de gesso.

## 6 Dispersão das Emissões e Elementos menores

Na amostragem das emissões foram avaliados os poluentes SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub> e MP, cujos resultados foram apresentados na tabela 1.

A figura 4 apresenta a concentração dos elementos menores avaliada no particulado das emissões.

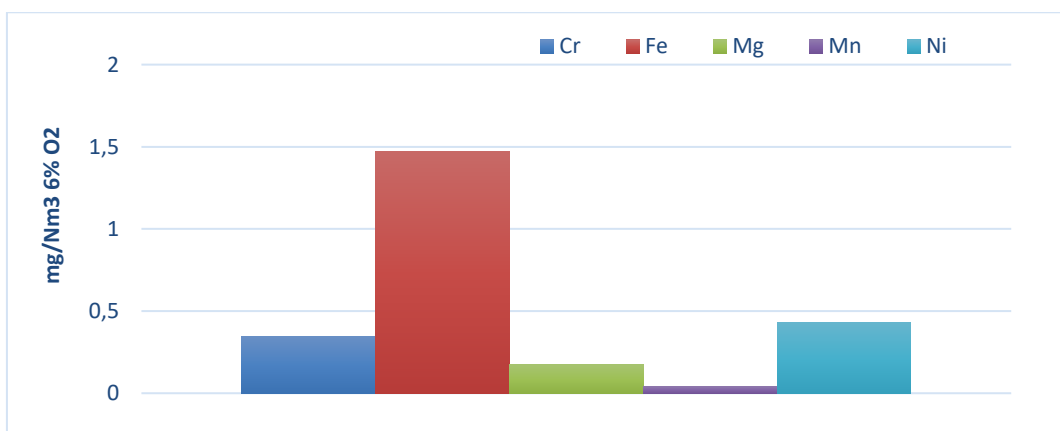


Figura 4 Concentração da emissão de elementos traço nas emissões atmosféricas

A modelagem de dispersão foi realizada para os poluentes SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, Material particulado e para os elementos cromo, ferro, magnésio, manganês e níquel. O mapa de Material Particulado obtido com a modelagem pode ser visualizado na figura a seguir.

PROJECT TITLE:

Concentração média de 24h PM10

Dia 16/09/2016 - Fonte UTCH - Charqueadas – RS

SCALE: 1:291,802

0 5 km

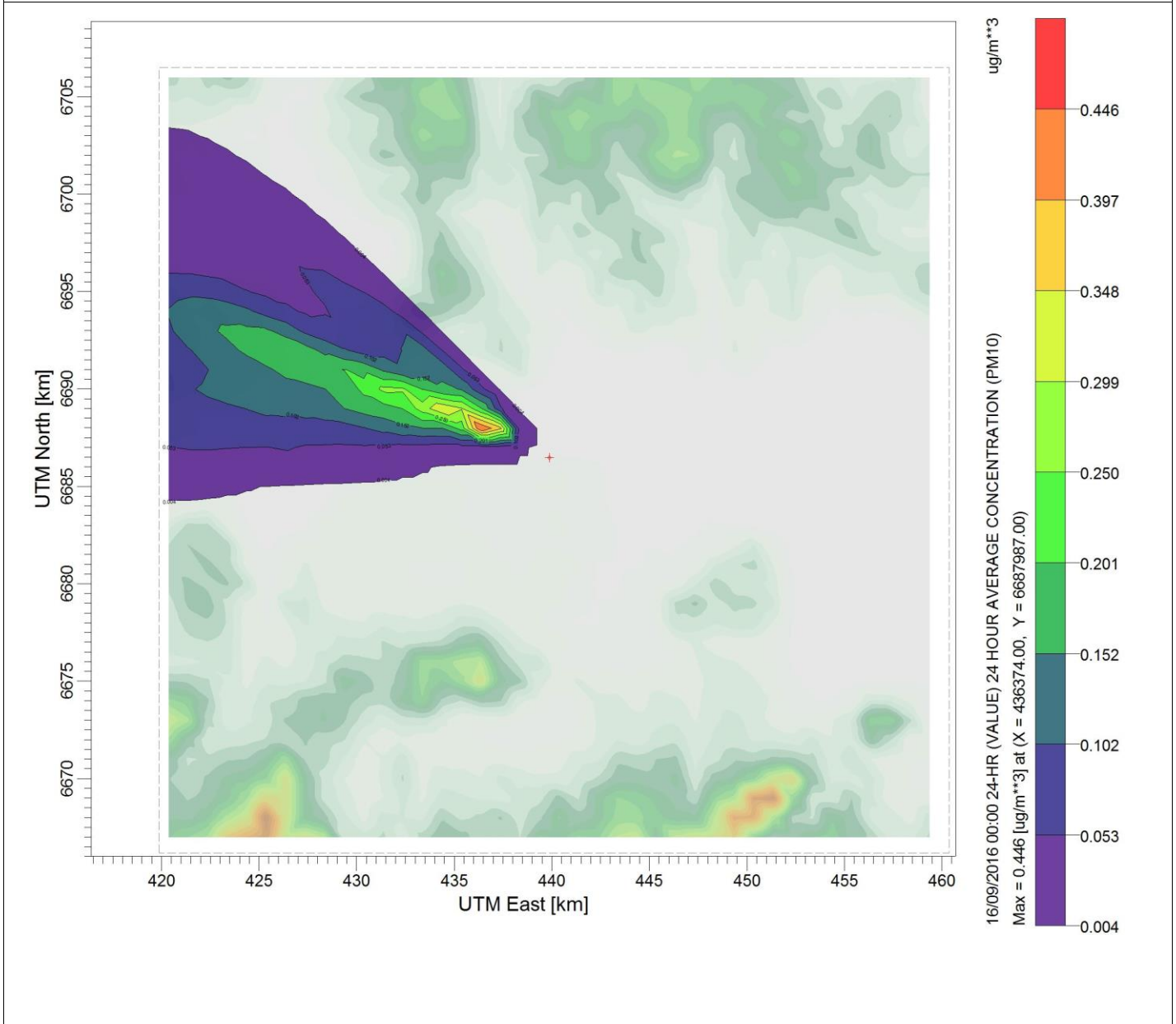


Figura 5 Mapa de dispersão da concentração média 24 h de Material particulado.

Os resultados obtidos na modelagem da dispersão dos poluentes, cujas isolinhas de concentração do material particulado ilustrado na figura acima, mostra que, para os parâmetros previstos na Legislação Ambiental do Brasil ( $\text{SO}_2$ ,  $\text{NO}_x$  e MP), considerando os dados meteorológicos de setembro de 2016, os valores máximos obtidos em cada ponto de grade são sempre inferiores ao padrão da legislação ambiental, resolução CONAMA

03/90. A máxima concentração média diária de MP ocorreu no dia 29 de setembro e foi de aproximadamente  $14 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , que representa 9% do padrão ( $150 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) para este poluente. A máxima média diária de dióxido de enxofre foi de  $4,98 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , obtida no dia 11 de setembro, ficando bem abaixo do padrão de qualidade do ar ( $365 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ), enquanto que a máxima horária de  $\text{NO}_x$  obtida na modelagem foi de  $3,32 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , o que significa 1% do padrão permitido para a máxima horária de  $\text{NO}_x$ . Esse valor máximo foi obtido no dia 29 de setembro.

As estações operadas pela Usina estavam em funcionamento e nesses dias os resultados máximos de ficaram entre  $1,95$  e  $13 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , para  $\text{NO}_2$  e a média diária de  $\text{SO}_2$  entre 11 e 21 nas estações Deprec e Arranca Toco respectivamente, enquanto que a média diária de material particulado, medido somente na estação Arranca Toco foi de  $21,4 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . Convém lembrar que os receptores, onde o modelo obteve os valores máximos dos poluentes avaliados, não estão localizados nas estações Arranca Toco de Deprec.

Para dispersão dos elementos traços avaliados nas emissões, o modelo encontrou os seguintes valores máximos na média 24h: Cr  $0,005 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ; Fe  $0,02 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ; Mg  $0,002$ ; Mn  $0,006 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ; Ni  $0,007 \mu\text{g}/\text{m}^3$  destes, os elementos que causam moderada preocupação ambiental são o Cr e Ni.

No Brasil, recentemente foram estabelecidos novos padrões de qualidade do ar, através da Resolução CONAMA nº 491/2018 publicada em 19 de novembro de 2018, que prevê padrão, para o elemento chumbo, de  $0,5 \mu\text{g}/\text{m}^3$  ( $500 \text{ ng}/\text{m}^3$ ). A comunidade Europeia estabelece valores anuais de referência de qualidade do ar para a concentração dos elementos Arsênio ( $6 \text{ ng}/\text{m}^3$ ), Cádmio ( $5 \text{ ng}/\text{m}^3$ ), Níquel ( $20 \text{ ng}/\text{m}^3$ ) e Chumbo ( $0,5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) CETESB (2017). O único elemento detectado na emissão, previsto em alguma das legislações citadas é o Ni, mas não há como fazer uma comparação do resultado obtidos na modelagem com as Legislação da União Européia, uma vez que o valor a ser

atendido na diretiva, refere-se a médias anuais enquanto o valor obtido na modelagem, é referente a máxima média diária de 24h.

## 7 Conclusão

A combustão de carvão resulta na liberação de elementos traço para a atmosfera. Alguns desses elementos concentram-se em certos fluxos de partículas após a combustão (por exemplo: cinza pesada, cinzas leves e partículas de gases de combustão). Os resultados da concentração dos elementos químicos presentes no carvão são bastante variados, pois a concentração depende das características e do comportamento do carvão. Neste estudo foram avaliados os elementos Be, Bi, Cd, Pb, Co, Cu, Cr, Sn, Fe, Li, Mg, Mn, Mo, Ni, Ag, Se e Ti nas correntes do processo de combustão de carvão pulverizado para geração de energia elétrica em usina térmica equipada com controles de poluição filtro mangas e lavador de gases - FGD. Foi possível evidenciar que o lavador de gases tem papel fundamental na retenção de alguns elementos traços e redução de outros.

A partir dos resultados das emissões atmosféricas e dos elementos menores emitidos foi realizada a dispersão dos poluentes através do modelo CALPUFF os resultados indicaram valores muito baixos para os poluentes convencionais associados as termelétricas. Com relação aos elementos menores os elementos emitidos de Cr e Ni que pertencem ao grupo de moderada preocupação ambiental, destes, apenas o Ni está previsto na legislação da comunidade Europeia com padrão anual.

## Agradecimentos

Os autores agradecem a Usina Termelétrica de Charqueadas pela disponibilização dos os dados de caracterização.

## 8 Referências Bibliográfica

BP Statistical Review of World Energy: 2018, disponível em: <<http://www.bp.com/content/dam/bp/en/corporate/pdf/energy-economics/statistical-review/bp-stats-review-2018-full-report.pdf>>, acesso em 24/08/2018

CEM/RS Conselho Estadual de Mineração 1988- Estudos para o Estabelecimento de Política de Longo Prazo para a Produção e Uso do Carvão Mineral Nacional, Porto Alegre, pp. 21-25.

CETESB – 2018 Qualidade do ar no estado de São Paulo 2017 São Paulo : CETESB, 2018 195p disponível em: < <http://www.cetesb.sp.gov.br>> , acesso em 14/12/2018

CONSELHO NACIONAL DE MEIO AMBIENTE. Resolução CONAMA nº 3 de 28 de junho de 1990. Diário Oficial da República Federativa do Brasil, Brasília, 22 de agosto de Diário Oficial da União, Brasília - DF, Seção 1:15937. 22 de agosto de 1990

Zhao,S.; Duan,Y.; Li,C.; Li,Y.; Chen,C.; Liu,M.; & Lu,J. 2017 Partitioning and Emission of Hazardous Trace Elements in a 100 MW Coal-Fired Power Plant Equipped with Selective Catalytic Reduction, Electrostatic Precipitator, and Wet Flue Gas Desulfurization 1 *Energy & Fuels* , 31, 12383-12389.

Ferraro L.V., Hazenack H. 2000. Clima. In:Vassiliou, M. & Dick, T (eds.) Carvão e Meio Ambiente. Centro de Ecologia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre. 1008 p p.:23-44.

IEA Clean Coal Centre- 2012, Trace element emissions from coal. Disponível em: <<http://www.iea-coal.org.uk>> Acesso em: 10 de dezembro de 2017.

Loureiro, N.; J. Fernando. Biomonitoração da Presença de Chumbo Atmosférico em Decorrência de Atividades de Reaproveitamento de Baterias Chumbo- Ácidas. 2015. 51 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Tecnologias Energéticas e Nucleares, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2015. Disponível em: <<http://repositorio.ufpe.br/handle/123456789/14939>>. Acesso em: 27 agosto de 2016.

Mallmann, E., Zwonok,O., 2011.Panorama dos Resíduos da Combustão do Carvão Mineral e Características Químicas e Físicas das Cinzas de Fundo das Usinas do Rio Grande do Sul. In: **III CONGRESSO BRASILEIRO DE CARVÃO MINERAL** Gramado,2011, disponível em:

<<http://www.ufrgs.br/rede-carvao>> \_acesso em 10/08/2018.

Meij R, Winkel H, 2007 The emissions of heavy metals and persistente organic pollutants from modern coal-fires power station. *Atmospheric Environment*, V 40, p 9262-9272.

Meij,R, 1994 Trace elements behavior in coal-fired power plants. *Fuel Processing Technology*, V39, p199-217.

Moraes, Osvaldo L.L 2010 Meteorologia e Poluição Atmosférica: Teoria, Experimentos

e Simulação Santa Maria : FACOS-UFSM 2010. 240p.

Nelson, P.F., VladStrezov,P., Halliburton,B.&Carras, J.N., 2010 Environmental impacts of coal combustion: A risk approach to assessment or emissions, *Fuel* Volume 89, Issue 4, 810-816 .

Pires, M., Fiedler, H.& Teixeira E.C. 2002 Distribuição geoquímica de elementos traços no carvão –In: Meio Ambiente e Carvão – Porto Alegre 498p p.237 – 250

Rigotti, N – 2012 Recuperação de áreas degradadas: estudo de caso In: Meio Ambiente e Carvão Cadernos de Planejamento e Gestão Ambiental 2 pág.100 498p

Rosini, F.; Matos, W. O.; Santos, M. C.; Nóbrega, J. A. Resolução CONAMA No 357 e técnicas espectroanalíticas: Meios adequados aos fins? *Revista Analytica*, v. 22, p.74-85, 2006

Scire, Joseph S., Robe, Françoise R., Fernau, Mark F.& Yamartino, Robert J. A User's Guide for the Calmet Meteorological Model – Version 5 disponível em [http://www.src.com/calpuff/download/Calmet-user\\_guide.pdf](http://www.src.com/calpuff/download/Calmet-user_guide.pdf) acesso em: 18/12/2018

Sundstron, M. G. 2012 Caracterização e avaliação das cinzas da combustão de carvão mineral geradas na região do baixo Jacuí - RS Programa de Pós Graduação em Avaliação de impactos ambientais em mineração Centro Universitário La Salle, RS Dissertação de mestrado 121 f

United States Environmental Protection Agency – EPA disponível em <https://www.epa.gov> >acesso em 04/12/2018.

### 3. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os resultados apresentados mostraram que os elementos químicos presentes no carvão tem comportamento diferente durante a combustão dependendo das suas características e associações, corroborando com os resultados encontrados na literatura consultada.

Também foi possível constatar que o lavador de gases é eficiente na coleta de elementos químicos, e que mesmo os elementos que não foram integralmente retidos pelo FGD têm a concentração reduzida o que denota a importância desse controle em usinas térmicas a carvão.

Os resultados dos poluentes convencionais, SO<sub>2</sub>, NO<sub>2</sub> e MP obtidos através do modelo CALLPUF foram menores que os valores encontrados nas



estações de monitoramento instaladas na região, o que pode ser um indicativo de que outras fontes contribuem de forma não menos significativa do que a termelétrica. A modelagem da dispersão é uma ferramenta para simular o transporte de poluentes atmosféricos e diante do deficiente monitoramento da qualidade do ar existente no país pode se tornar um importante meio de avaliação da qualidade do ar nos grandes centros urbanos, como também para identificar regiões impróprias à instalação de novas indústrias.

Também foi possível constatar que os controles de poluentes adotados na termelétrica para redução dos poluentes refletiram-se numa melhoria da qualidade do ar, considerando os resultados das estações monitoradas, embora, com a paralização das atividades da termelétrica a qualidade do ar não mostrou uma tendência de redução nas duas estações monitoradas dos poluentes a ela relacionados.

Os elementos traço analisados na estação estão condizentes com os encontrados em uma região industrializada como é a região metropolitana de Porto Alegre.

As análises de microscopia de raio X realizada no material particulado, mostraram a presença de elementos associados ao carvão e a outras atividades industriais em ambas estações estudadas.

Sabemos que a atmosfera é um ambiente sensível que é afetado por todas as atividades de emissões antrópicas e naturais e que associado as características e variáveis meteorológicas de cada região pode afetar o meio ambiente e a saúde da população como exemplo, citamos o vulcão chileno que em 2011 atingiu a região sul do Brasil e afetou a qualidade do ar das demais estações de monitoramento localizadas na região metropolitana de Porto Alegre e a estação Arranca toco, podendo ser até mesmo considerado neste ano o evento mais significativo em termos de concentração de material particulado.

Por fim ressaltamos a importância de um monitoramento contínuo e constante como o realizado pela usina termelétrica de Charqueadas, esse monitoramento tornou possível avaliar as diferentes fases de operação da termelétrica e quando aliado a outras ferramentas como a modelagem atmosférica pode auxiliar na gestão pública no âmbito da qualidade do ar.