

# Monitoramento das Fontes de Emissão

Roberto Naime<sup>1</sup>, Janete Utzig<sup>2</sup>

## Resumo

Este trabalho apresenta o monitoramento das fontes de emissão atmosféricas que é realizado no Pólo Petroquímico de Triunfo, no RS, através de amostragens isocinéticas. A amostragem isocinética é utilizada para determinação da emissão de material particulado em fontes fixas. Gases oriundos da combustão, tais como o dióxido de enxofre e óxidos de nitrogênio são monitorados através de analisadores portáteis ou fixos (contínuos). As fontes de emissão monitoradas apresentadas nesse trabalho são as caldeiras que utilizam o carvão como combustível. Os resultados são apresentados em tabelas e analisados conforme os parâmetros ambientais vigentes e a legislação em vigor.

**Palavras-chave:** Monitoramento. Atmosférico. Isocinética.

## Abstract

This paper presents the atmospheric emissions sources monitoring accomplished in the South Petrochemical Complex in Triunfo, RS, through isokinetic sampling. This kind of sampling is one of the atmospheric emissions monitoring accomplished in Copesul. Isokinetic sampling is used to determinate particulate material in stacks. Another gases are analysed by portable or fixed electronic equipment. Emissions sources monitored in Copesul are the boilers, that use the coal as combustible. The results are presented in tables and analyzed as the effective ambient parameters and the laws.

**Keywords:** Monitoring. Atmospheric. Isokinetic.

<sup>1</sup> Professor do Mestrado em Qualidade Ambiental da FEEVALE. Coordenador do curso de Engenharia Ambiental e Engenharia de Alimentos do UNIVAG.

<sup>2</sup> Engenheira Industrial Química.

## 1. Introdução

A poluição do ar sempre fez parte da vida do homem. Nossos ancestrais já conviviam com a poluição natural de queimadas, erupções vulcânicas e decomposição da matéria orgânica. Mais tarde, com a revolução industrial, o funcionamento das máquinas acabou por multiplicar as fontes de poluição. Uma das fontes energéticas utilizadas foi e ainda é, o carvão que, na sua combustão gera, entre outros parâmetros atmosféricos, o material particulado.

A prevenção à poluição ou a redução na fonte pode ser realizada como um caráter preventivo no planejamento do projeto. O Pólo Petroquímico de Triunfo utiliza equipamentos de controle que, no caso das emissões atmosféricas, são dois precipitadores eletrostáticos na saída de cada caldeira a carvão e altas chaminés para a diluição atmosférica das emissões. Além disso, as emissões atmosféricas geradas no processo são monitoradas periodicamente.

As emissões atmosféricas em geral geram efeitos sobre a saúde e o meio ambiente. O monitoramento do material particulado é feito porque este parâmetro é emitido em quase todas as fontes onde há combustão e gera os seguintes efeitos sobre a saúde:

- agrava quadros alérgicos de asma e bronquite;
- carcinogênico;
- as poeiras mais grossas ficam retidas no nariz e na garganta, causando irritação e facilitando a propagação de infecções gripais;
- as poeiras mais finas (partículas inaláveis) chegam aos alvéolos, agravando casos de doenças respiratórias ou de coração.

O objetivo do presente trabalho é a apresentação da sistemática de monitoramento de material particulado através da amostragem isocinética em fontes estacionárias realizada pela COPESUL.

## 2. Materiais e Métodos

Para a realização de todas as etapas integrantes de um Sistema de Gestão Ambiental, são gerados e seguidos procedimentos referentes a cada uma delas. Para o caso do monitoramento de emissões atmosféricas, a amostragem isocinética segue o procedimento PMA-CP-001-001: Procedimento de amostragens isocinéticas em fontes estacionárias. Este procedimento foi utilizado para amostragem apresentada neste trabalho, bem como para o cálculo dos resultados obtidos. Ele está baseado nas normas nacionais NBR (Normas Brasileiras), que, por sua vez, baseiam-se nas normas internacionais da EPA (*Environmental Protection Agency – USA*), conforme segue:

- NBR 10700: Planejamento de amostragens em dutos e chaminés de fontes estacionárias.
- EPA 1 e NBR 10701: Determinação de Pontos de amostragem em dutos e chaminés de fontes estacionárias.
- EPA 3 e NBR 10702: Determinação da massa molecular – base seca – de efluentes gasosos em dutos e chaminés de fontes estacionárias.
- EPA 2 e NBR 11966: Determinação da velocidade e vazão de efluentes gasosos em dutos e chaminés de fontes estacionárias.
- EPA 4 e NBR 11967: Determinação da umidade de efluentes gasosos em dutos e chaminés de fontes estacionárias.

⇒ EPA 5 e NBR 12019: Determinação da concentração de material particulado na chaminé com uso de porta-filtro na caixa quente.

⇒ NBR 12020: Calibração dos equipamentos utilizados em amostragem de efluentes gasosos em dutos e chaminés de fontes estacionárias.

⇒ EPA 17 e NBR 12827: Determinação da concentração de material particulado com sistema filtrante no interior da chaminé (uso de filtro na ponta de sonda).

Para a realização deste procedimento utilizam-se vários equipamentos que, em seu conjunto têm a denominação de trem de amostragem, que serão posteriormente apresentados.

### 3. Trabalhos Anteriores

Sob a denominação de material particulado (MP) encontra-se uma classe de emissões atmosféricas constituída de poeiras, neblina, aerossóis, fumaça, fuligem e todo tipo de material sólido e líquido que, devido ao seu pequeno tamanho, se mantém suspenso na atmosfera. As fontes emissoras de origem antropogênica desses parâmetros são as mais variadas: os veículos – especialmente a diesel, que emitem as agressivas e incômodas fuligens -, as chaminés industriais, as usinas térmicas a carvão, as queimadas e os processos de incineração em geral (Álvares, 2002).

O MP não é uma substância única, conforme sua origem, as partículas carregam consigo variadas substâncias tóxicas e carcinogênicas, como hidrocarbonetos, sulfatos, dioxinas, metais, que potencializam seus efeitos danosos sobre a saúde e o meio ambiente. Se muito grandes, as partículas caem no solo pela força da gravidade; em proporções pequenas, flutuam no ar e podem ser inaladas por seres vivos. Somente as partículas muito pequenas entram no organismo humano (menores que 10 micra – PM 10). As pequenas partículas penetram no pulmão e depositam-se nos alvéolos.

A gestão de fontes estacionárias de poluição atmosférica engloba aspectos bastante amplos, que vão desde o planejamento de projetos industriais até ações diretas sobre as fontes de emissão. Para o controle das emissões do material particulado, podem ser utilizados vários equipamentos, como: câmaras de sedimentação, ciclones, lavadores de gás (*scrubbers*), precipitadores eletrostáticos, filtros de manga.

O princípio de funcionamento dos precipitadores eletrostáticos, que são os equipamentos de controle utilizados na COPESUL, baseia-se na ionização das partículas presentes no fluxo gasoso, de forma que, ao atravessarem um campo elétrico criado entre dois eletrodos metálicos, elas sejam atraídas para estes eletrodos, onde se descarregam e caem na tremonha de coleta ou ficam aderidos ao eletrodo e são retiradas posteriormente, por meio de uma forte vibração ou impacto na placa de coleta (*rapping*), sendo a segunda a forma preferencialmente utilizada.

Após aplicadas as formas de prevenção e/ou redução na fonte, são realizados monitoramentos por amostragens. A amostragem de poluição atmosférica de fontes estacionárias é um conjunto de medidas interligadas visando à determinação quantitativa ou qualitativa de um efluente de um determinado processo. A amostragem em si é um elo de uma cadeia que reúne passos importantíssimos antes e depois dela. A técnica de escolha do local da amostragem, a periodicidade da amostragem, o número de pontos a serem amostrados, a determinação do equipamento a ser empregado, o procedimento de coleta de amostras, a caracterização do fluxo gasoso da chaminé e da amostra e as técnicas de laboratório de análise a serem empregadas constituem outros elos desta cadeia (Soares, 1994).

Na amostragem do material particulado presente nos gases de exaustão das chaminés emprega-se a amostragem isocinética. A velocidade da amostra tem que corresponder exatamente à velocidade do fluxo de gás dentro da chaminé. Caso contrário, a amostra não será representativa. Além desta amostragem, é utilizado também o opacímetro, que é destinado ao monitoramento contínuo do material particulado, instalado permanentemente no local de coleta. Os opacímetros são aparelhos que empregam um feixe de luz que atravessa uma câmara contendo o fluxo das partículas. A maior ou menor presença destas partículas vai atenuar a chegada da luz em um foto detector, sendo proporcional à presença dos particulados. A calibração inicial dos opacímetros é feita através de correlações com os resultados obtidos na amostragem isocinética. (Santos, 2004)

#### 4. Fontes de Emissão Atmosférica

As fontes de emissão atmosférica existentes na COPESUL podem ser classificadas em contínuas e não-contínuas. As contínuas são as emissões das caldeiras (Unidade de Utilidades), das fornalhas (Unidade de Olefinas e Aromáticos) e da tocha. As não-contínuas são representadas pelas emissões fugitivas do processo e da tancagem.

Neste trabalho, será feito um estudo específico sobre as emissões contínuas, referentes ao material particulado, onde serão tratadas as 3 caldeiras existentes, das quais duas operam a carvão e consomem em média 20t/h de carvão cada, com 35% de cinzas, tornando necessária a utilização de dois precipitadores eletrostáticos para cada uma das caldeiras, com eficiência de projeto de 99,9% de abate de material particulado para controlar a emissão de material particulado para a atmosfera.

Existem chaminés de 120 metros de altura instaladas, uma para cada caldeira, resultando em condições eficientes de dispersão. Ao lado de cada chaminé, são instalados precipitadores eletrostáticos, que são apresentados na figura 1 a seguir. Além disto, é realizado o monitoramento de Material Particulado por amostragem isocinética na caldeira.



**Figura 1:** Precipitadores Eletrostáticos.

Material Particulado (MP) e Partículas Inaláveis (PI) é um conjunto de parâmetros constituídos de poeiras, fumaças e todo o tipo de material sólido e líquido que se mantém suspenso na atmosfera por causa de seu pequeno tamanho.

Esse parâmetro resulta da queima de combustíveis e de seus aditivos, de processos industriais e do desgaste de pneus e freios. Em geral, são provenientes da fumaça emitida pelos veículos movidos a óleo diesel; da fumaça expelida pelas chaminés das indústrias ou pelas queimadas; da poeira depositada nas ruas e dos resíduos de processos industriais que utilizam material granulado; de obras viárias ou que movimentam terra, areia, etc.

O material particulado serve de meio de transporte para outras substâncias, como hidrocarbonetos e metais, que se agregam às partículas. Entre as partículas inaláveis, as mais grossas ficam retidas na parte superior do sistema respiratório, enquanto as mais finas, devido ao seu tamanho diminuto, podem atingir os alvéolos pulmonares, que se constituem na região mais profunda do sistema respiratório. Entre os sintomas relacionados com a inalação do MP, estão as alergias, a asma e a bronquite crônica. Causa também irritação nos olhos e na garganta, reduzindo a resistência às infecções.

## 5. Amostragem Isocinética

A amostragem isocinética, apesar de não ser um monitoramento contínuo, oferece resultados mais precisos em relação à emissão de material particulado de uma fonte estacionária.

A amostragem isocinética é a determinação quantitativa e/ou qualitativa de um ou mais parâmetros emitidos por fontes fixas de efluentes gasosos de processos. A amostragem tem como objetivo determinar parâmetros de projeto, fatores e padrões de emissão e eficiência de equipamentos. Para que uma amostragem seja isocinética, é necessário que a amostra seja coletada nas mesmas condições da chaminé ou do duto (velocidade, temperatura, pressão e outros parâmetros).

Em grego, “isocinética” significa “igual velocidade” e, para que uma amostragem seja isocinética, é necessário que a velocidade na entrada do amostrador seja igual à velocidade dos gases que estão saindo da chaminé.

O objetivo básico de uma amostragem em chaminé é determinar a quantidade de um ou mais parâmetros emitidos por uma fonte de poluição do ar. Ou seja, determinar qual a concentração do parâmetro no gás inerte, ou qual a quantidade de parâmetro emitido na unidade de tempo, em que temperatura, pressão, velocidade, umidade, etc. O efluente é emitido.

De uma forma geral, se faz amostragem em chaminé para:

➔ **FISCALIZAR:** determinar se o efluente de uma fonte de poluição do ar está de acordo com um limite legal máximo de emissão. Neste caso, a amostragem deve ser executada de acordo com o estabelecido em conjunto com o limite máximo de emissão permissível (padrão de emissão). Usualmente procuram-se condições médias que representem a quantidade média emitida em um determinado intervalo de tempo.

➔ **DETERMINAR PARÂMETROS DE PROJETO:** neste caso, pode-se querer determinar condições extremas ou de pico no projeto ou seleção de um equipamento destinado a tratar o efluente, utilizar as piores condições, o que traria um fator de segurança para outras condições.

➔ **DETERMINAR FATORES E PADRÕES DE EMISSÃO:** determinar a emissão média de um determinado tipo de fonte em função de uma característica desta fonte, por exemplo, quantidade de matéria-prima.

➡ DETERMINAR EFICIÊNCIA DE MEDIDAS DE CONTROLE ADOTADAS: determinações antes e depois da medida de controle ou do equipamento de controle para cálculo de eficiência.

Em uma primeira visão superficial de como conseguir realizar uma amostragem isocinética, a solução parece simples. Primeiro, basta medir a velocidade dos gases na chaminé, no ponto de amostragem e, depois, ajustar a vazão da bomba para que a velocidade da boquilha seja a mesma.

Esta solução não é suficiente, devido a dois motivos:

- a velocidade dos gases na chaminé varia;
- para obter uma amostragem representativa, deve-se amostrar em vários pontos.

No primeiro caso, a variação da velocidade pode ser rápida e totalmente aleatória ou lenta e, até certo ponto, previsível. Por exemplo, um forno elétrico, durante sua operação, às vezes, picos de emissão de curta duração (labaredas), que fazem com que a vazão dos gases emitidos aumente várias vezes em relação a seu valor médio.

Variação lenta é o que acontece durante a queima de lixo num incinerador domiciliar. O porteiro deixa acumular de 50 a 100 kg de lixo e acende o fogo. Os gases, produtos da combustão, são inicialmente poucos, porém, à medida que a massa de lixo começa a arder, vão aumentando. Após certo período, a grande maioria do lixo já queimou e o processo de geração de gases combustíveis entra em decadência, diminuindo paulatinamente até o fogo apagar.

Portanto, se for medida a velocidade dos gases da chaminé, no ponto de amostragem, será verificado que os gases primeiro vão aumentando até o máximo para, depois ir caindo até voltar a zero. Assim, não tem só uma velocidade de amostragem e se deve, portanto, possuir um aparelho que permita medir a velocidade dos gases constantemente e também poder ajustar a vazão de amostragem de maneira contínua e rápida.

O segundo motivo apresentado refere-se à obtenção de uma amostra representativa dos gases que estão sendo emitidos. Para que esta amostra seja realmente representativa não se pode amostrar num único ponto de uma seção de chaminé, mas, sim, num número razoável de pontos que cubram a seção de forma uniforme. Para isto, utiliza-se a metodologia EPA 1 e NBR 10701.

O que é importante ressaltar é que, mudando-se a posição da boquilha dentro da chaminé, durante uma amostragem, mesmo que a vazão na chaminé permaneça constante, a velocidade dos gases nestes diferentes pontos será diferente.

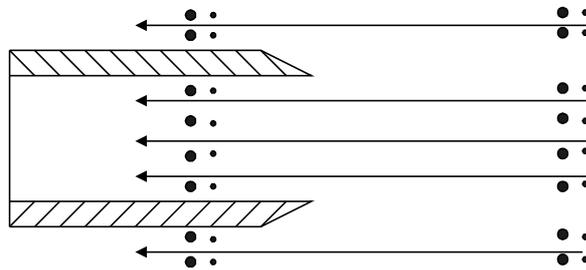
Em qualquer fluido em movimento dentro de um duto, existe um perfil de velocidade. Normalmente, quanto mais perto das paredes, menor é a velocidade do fluido, devido à fricção delas. À medida que se muda a posição da boquilha dentro do duto, a velocidade em cada ponto mudará e se terá que ajustar a vazão da bomba para que a velocidade na entrada da boquilha mantenha-se isocinética.

Se a velocidade de coleta for menor que a velocidade dos gases na chaminé, é como se o amostrador fosse tampado parcialmente. A partícula menor, por ser muito pequena e possuir pouca inércia, pode acompanhar com muita facilidade qualquer desvio na direção dos gases e, dessa maneira, não será captada pelo amostrador. Serão amostradas mais partículas maiores do que na realidade e, como o peso dessas partículas é proporcionalmente muito significativo, a concentração de material particulado será superior à realmente existente. Se a velocidade de coleta for maior que a velocidade dos gases na chaminé, as linhas de fluxo desviam-se em direção ao amostrador e as partículas maiores, devido a sua inércia, não acompanham esse desvio. Partículas menores, por ter

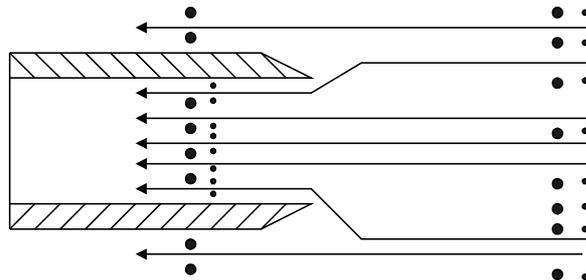
inércia menor, acompanham esse desvio e se tornam mais presentes na amostra do que realmente estão na chaminé, apresentando concentrações de material particulado menores do que realmente são.

A condição isocinética refere-se à retirada de uma alíquota de gás de um fluxo em movimento na mesma velocidade que o fluxo se move. Se houver diferença nestas velocidades, haverá distúrbio nas linhas de corrente no entorno da sonda amostradora (boquilha).

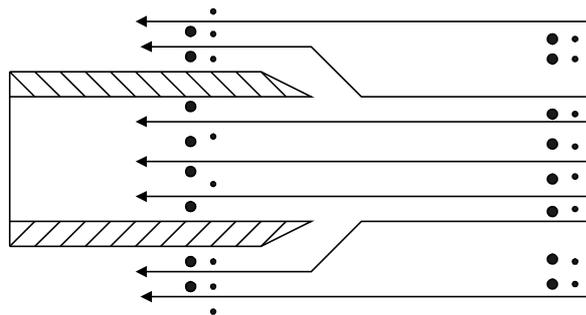
⇒ Para uma amostragem isocinética ( $V_b = V_s$ ) →  $I = 100\%$ :



⇒ Para  $V_b > V_s$  ( $V_b = 2V_s$ ) →  $I = 200\%$ :



⇒ Para  $V_b < V_s$  ( $V_b = 0,5V_s$ ) →  $I = 50\%$ :



Obs.:  $V_b$ : velocidade na boquilha e  $V_s$ : velocidade na chaminé.

O planejamento é a fase inicial de qualquer amostragem. Essa fase deve ser desenvolvida cuidadosamente no sentido de se orientar a amostragem para o objetivo final e evitar desperdícios de tempo e recursos.

O planejamento é feito com a seguinte metodologia:

1) Conhecer a fonte a ser amostrada: o perfeito conhecimento da fonte poluidora traz

O planejamento é a fase inicial de qualquer amostragem. Essa fase deve ser desenvolvida cuidadosamente no sentido de se orientar a amostragem para o objetivo final e evitar desperdícios de tempo e recursos.

O planejamento é feito com a seguinte metodologia:

1) Conhecer a fonte a ser amostrada: o perfeito conhecimento da fonte poluidora traz informações fundamentais ao desenvolvimento da amostragem. Ou seja, conhecer as matérias-primas, reativos e combustíveis que entram no processo, seus produtos, características técnicas deste processo, tais como temperatura, capacidade, ciclo de operação, pressão, etc., conhecer também características físicas dos equipamentos utilizados, por exemplo, forma de exaustão, dimensões da chaminé ou dutos onde a amostragem poderia ser realizada;

2) Estudo das emissões: em função dos dados acima, a fonte deve ser estudada com objetivo de se estimar as características básicas do seu efluente, tanto no que se refere aos possíveis parâmetros emitidos, como o gás inerte que o carrega. Nesta fase, serão decididos quais os parâmetros a serem amostrados. Os resultados deste estudo permitirão a escolha dos métodos de coleta e análise a serem adotados, bem como dos equipamentos a serem utilizados;

3) Escolha do local da amostragem: em função dos dados físicos obtidos no levantamento da fonte e dos dados do efluente obtidos no estudo da fonte, pode-se escolher o local da amostragem. Este local deve ser tal que permita coletar uma amostra representativa daquilo que está sendo emitido pela fonte. O critério básico é escolher um local onde a concentração do parâmetro esteja uniformemente distribuída no fluxo gasoso (inerte). Isto se dá onde as condições de fluxo sejam as mais uniformes possíveis, procurando trechos de dutos retos, longe de cotovelos, bifurcações, que causam perturbações no fluxo gasoso. Para material particulado, este critério é fundamental;

4) Preparação do local: construção de plataformas, execução de furos, providenciar energia elétrica e infra-estrutura no local da amostragem;

5) Tomada preliminar das condições do fluxo gasoso: determinação de velocidade,  $\Delta P$  (diferencial de pressão), temperatura, umidade, pressão estática e peso molecular da mistura gasosa a



**Figura 2:** Chaminé da caldeira.

Várias combinações de equipamentos podem ser utilizadas para que a amostragem de chaminé se realize de acordo com o objetivo previamente definido. De uma maneira geral, num trem de amostragem (figura 3), o ponto de entrada da amostra se chama boquilha (figura 4). Seu objetivo básico é proporcionar uma velocidade de entrada da amostra igual à velocidade do gás na seção da chaminé onde está se realizando amostragem. Este é o fato bastante importante na amostragem de material particulado em dutos e chaminés para se obter uma amostragem isocinética.

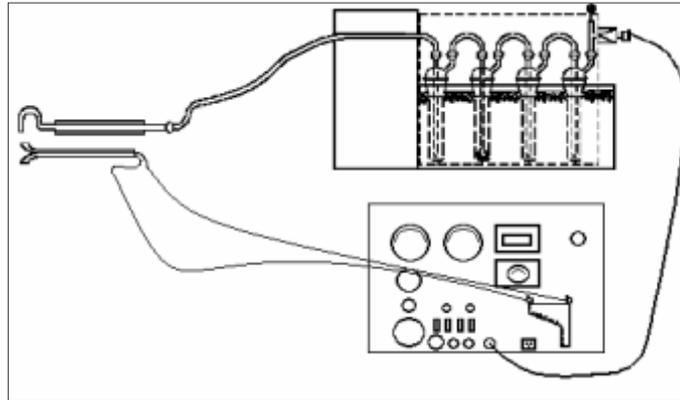


Figura 3: Trem de amostragem.

A boquilha deve estar num bom alinhamento com a ponta dos tubos *pitots*, de maneira tal que uma linha traçada através do eixo central do interior da entrada da boquilha coincida com a linha através do centro do orifício do tubo *pitot*. Não deve ser muito comprida nem muito curta.

Geralmente são utilizados três tamanhos:

- 1/2" – 3 m/s <math><V></math> 5 m/s
- 3/8" – 5 m/s <math><V></math> 15 m/s
- 1/4" – 15 m/s <math><V></math> 50 m/s

Deve-se evitar danificar a borda cônica da boquilha para evitar alterações na sua calibração.

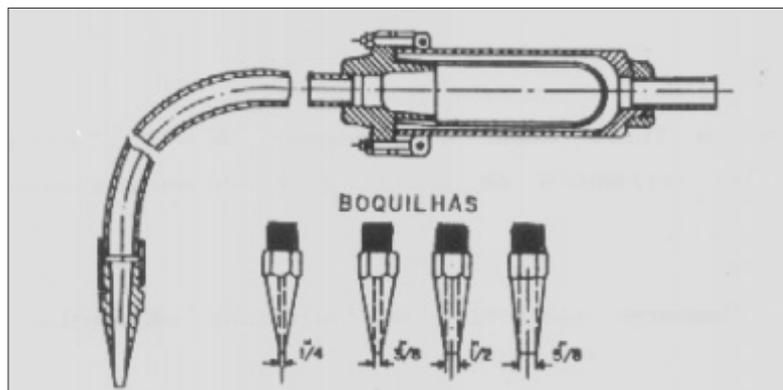


Figura 4: Boquilha.

A sonda de amostragem é um trecho de tubulação onde é rosqueada a boquilha, e também acoplado o tubo de *pitot* (figura 5) e sensores de temperatura, e que é introduzida na chaminé para a coleta da amostra. Vários podem ser os tipos de sonda: de aço sem aquecimento, de aço com aquecimento (para manter a amostra na temperatura da chaminé), de vidro, entre outros.

A sonda que tem um sistema de aquecimento evita a condensação de água e colmatação de cinzas na sua parede. Devem-se evitar choques para não danificar as conexões com o resto do sistema de amostragem e parte elétrica (resistores e sensores).

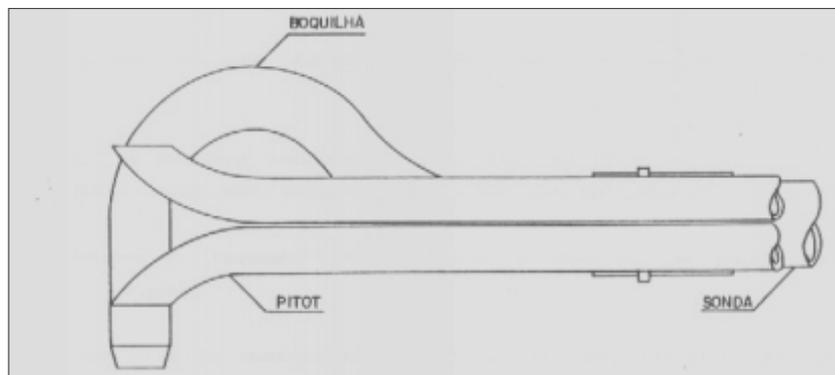


Figura 5: Conjunto boquilha - *pitot*.

O tubo *pitot* do tipo “S” ou *Stauscheibe* é o mais freqüentemente usado com o método recomendado de amostragem em chaminé (figura 6). É o instrumento utilizado para medir o  $\Delta P$  (diferença entre a pressão total e a estática) do gás na chaminé e, conseqüentemente, a sua velocidade. O tubo *pitot*, tipo “S”, tem várias vantagens que o fazem mais atrativo para amostragens em chaminé em relação aos tubos *pitot* normais.

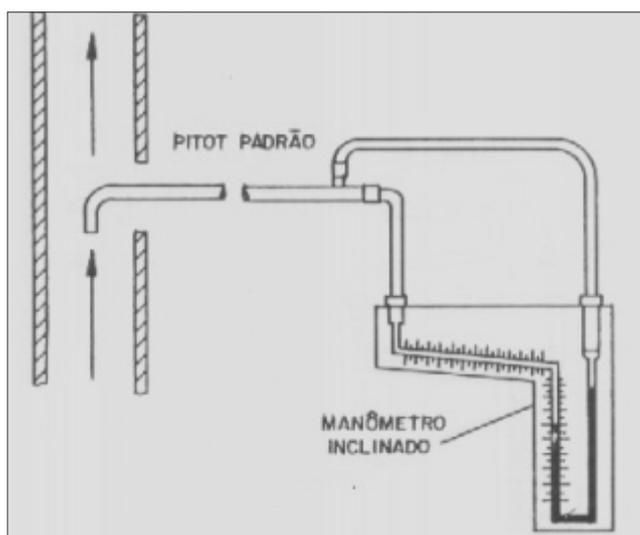


Figura 6: Tubo *pitot* padrão.

Este equipamento possui orifícios sensores de diâmetro muito maior, minimizando a possibilidade de entupimento quando introduzido em vazões com alta concentração de partículas.

O tubo de *pitot* deve ser calibrado periodicamente. Esta calibração gera um fator para cada trama (A e B), que deve ser utilizado posteriormente nos cálculos de amostragem.

Cordão umbilical é a mangueira pela qual passam os gases amostrados, as linhas do tubo *pitot* e a fiação elétrica que conecta todo o sistema de amostragem. Existem 2 situações de uso:

1. Em grandes concentrações de material particulado. Usa-se um único Cordão Umbilical para todo o Trem de Amostragem, sendo que, nesta situação, o filtro fica instalado na caixa quente. Na COPESUL, utiliza-se a Situação 1 na entrada dos precipitadores eletrostáticos.

2. É utilizada para baixas concentrações de material particulado. Usa-se o cordão umbilical e tubos flexíveis (tubo de *Pitot* e mangueira flexível para ligar a sonda à caixa de amostragem), sendo que, nesta situação, o filtro fica na ponta da sonda de amostragem. Na COPESUL, é utilizada esta situação na saída dos precipitadores eletrostáticos e na chaminé da Caldeira.

Na caixa porta-filtro, que é aquecida eletricamente, estão localizados o filtro e o porta-filtro. É também chamada de “caixa quente”. O uso de uma caixa porta-filtro de peso leve é uma vantagem durante a realização de uma amostragem em chaminé. Este tipo de caixa pode ser feito de alumínio ou aço inox. A caixa deve ser de construção sólida e estar bem isolada, térmica e eletricamente. O compartimento onde vai o porta-filtro deve contar com um termostato calibrado. É também de interesse contar com um sistema que não permita rotação da sonda e do tubo *pitot*.

Na realização de amostragem em atmosferas muito poluídas (concentrações altas de material particulado), freqüentemente é colocado, no interior da caixa, um mini-ciclone de vidro, que serve como pré-limpador antes do porta-filtro.

Com freqüência, utiliza-se um sistema monotrilho para pendurar o conjunto da caixa porta-filtro e a sonda. Este tipo de sistema pode ser montado com certa facilidade, porém, para casos em que são poucas as medições, pode-se utilizar um sistema de dois cavaletes, com uma tábua por cima, de altura tal que, empurrando horizontalmente a caixa porta-filtro em cima da madeira, a sonda entra e saia facilmente no orifício da chaminé.

A caixa fria ou balde de vidraria (figura 7) é um tipo de coletor que pode ser utilizado para diversos tipos de coleta, tais como absorção, condensação e reações químicas. Os borbulhadores são do tipo *Greenburg-Smith*, padronizados e especificados nas normas de amostragem. São também chamados de Frascos Lavadores e *Impingers*.

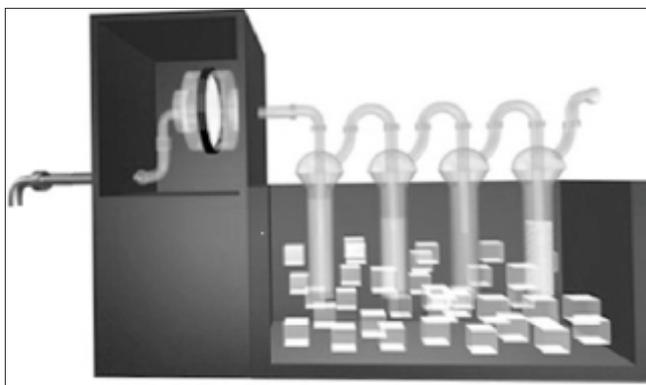


Figura 7: Caixa fria.

A caixa de controle (figura 8) é o centro do sistema de amostragem. Contém, no seu interior, um conjunto de bomba de vácuo, orifício calibrado, gasômetro, conjunto de manômetros, e manômetro inclinado e um *display* de temperatura.



Figura 8: Caixa de controle.

Vários tipos de coletores de partículas são utilizados. Deles são feitas as determinações de peso, antes e após a amostragem, cuja diferença representa a quantidade de poeira coletada ( $W$ ), obtida pela seguinte relação:

$$W = P_f - P_i$$

Onde:

$P_f$ : peso final do filtro utilizado na amostragem

$P_i$ : peso inicial do filtro utilizado na amostragem.

O tipo de filtro a ser utilizado dependerá das condições com que a amostra for coletada e cada fabricante deverá fornecer suas especificações, principalmente com respeito à porosidade e temperatura de operação.

Os cálculos seguem metodologia recomendada por normas da EPA (*Environmental Protection Agency*).

#### EPA 5-1 - Volume de Gás Amostrado em Condições Normais

$$Vm_{std} = Vm \times (T_{std}/Tm) \times ((Pb + (DH/13,6))/P_{std}) = 17,71^\circ R/in\ Hg \times Vm \times (((Pb + (DH/13,6))/Tm)$$

$Vm_{std}$  = Volume do gás amostrado em condições normais ( $ft^3$ )

$Vm$  = Volume do gás medido nas condições do gasômetro ( $ft^3$ )

$T_{std}$  = Temperatura absoluta normal ( $530^\circ R$  ou  $21^\circ C$ )

$Tm$  = Temperatura média no gasômetro ( $^\circ R$ )

$Pb$  = Pressão barométrica (in Hg)

$DH$  = Pressão média no manômetro do orifício (in  $H_2O$ )

13,6 = Fator de conversão de densidade do Hg

$P_{s_{std}}$  = Pressão absoluta nas condições normais (29,92"Hg)

#### EPA5-2 - Volume de Vapor de Água Condensada

$$Vw_{std} = Vlc \times (rH_2O/mH_2O) \times (RxT_{std})/P_{std} = Vlc \times 0,0474 \text{ ft}^3/\text{ml} \text{ ou } Vlc \times 0,001335 \text{ m}^3/\text{g}$$

$Vw_{std}$  = Volume de vapor na amostra em condições normais - CNTP (ft<sup>3</sup>)

$Vlc$  = Volume total do líquido coletado nos *Impingers* e na sílica gel (ml)

$rH_2O$  = densidade da água (1)

$mH_2O$  = Peso molecular da água (18 lb/lb-mol)

$R$  = Constante dos gases ideais (21,83"Hg ft<sup>3</sup>/lb-mol x °R)

$T_{std}$  = Temperatura absoluta normal - CNTP (530 °R)

$P_{std}$  = Pressão absoluta normal - CNTP (29,92"Hg)

#### EPA5-3 - Conteúdo da Umidade dos Gases Amostrados

$$Bw_0 = Vw_{std}/(Vm_{std} + Vw_{std}) \quad \text{Obs.: } \times 100\% \text{ Umidade}$$

$Bw_0$  = Fração em volume do vapor de água

$Vw_{std}$  = Volume do vapor de água no gás amostrado em condições normais (ft<sup>3</sup>)

$Vm_{std}$  = Volume do gás amostrado em condições normais (ft<sup>3</sup>)

#### EPA3-2 - Peso Molecular Seco dos Gases Amostrados

$$Md = 0,44 \times (\%CO_2) + 0,32 \times (\%O_2) + 0,28 \times (\%N_2 + \%CO)$$

$Md$  = Peso molecular dos gases secos (lb/lb-mol)

$\%CO_2$  = % de CO<sub>2</sub> em volume

$\%O_2$  = % de O<sub>2</sub> em volume (determinado pelo P.C.O.)

$\%N_2$  = % de N<sub>2</sub> em volume

$\%CO$  = % de CO em volume (determinado pelo P.C.O.)

0,44 , 0,32 e 0,28 = peso molecular do CO<sub>2</sub>, O<sub>2</sub>, N<sub>2</sub> e CO divididos por 100

#### EPA2-1 - Peso Molecular dos Gases de Chaminé Úmidos

$$Ms = Md \times (1 - Bw_0) + 18 \times Bw_0$$

$Ms$  = Peso molecular em base úmida (lb/lb-mol)

$Md$  = Peso molecular em base seca (lb/lb-mol)

$Bw_0$  = Fração do vapor de água

18 = mol da água

#### EPA2-2 - Velocidade Média dos Gases na Chaminé

$$Vs_{avg} = Kp \times Cp (Dp)_{avg}^{1/2} \times ((Ts_{avg}/(Ps \times Ms))^{1/2}$$

$Vs_{avg}$  = Velocidade média dos gases na chaminé (ft/s)

$$Kp = 85,48 \text{ (ft/s) (lb/lb-mol x } ^\circ\text{R)}^{1/2} \text{ ou } 34,97 \text{ (m/s) (g/gmol mm Hg/K (mm H}_2\text{O))}^{1/2}$$

Cp= Coeficiente do tubo de *Pitot*

Ts<sub>avg</sub> = Temperatura média da chaminé (°R)

(Dp)<sub>avg</sub><sup>1/2</sup> = Média das raízes das leituras no manômetro (in H<sub>2</sub>O)<sup>1/2</sup>

Ps= Pressão absoluta na chaminé (in Hg) Ps = Pb + Pe

Ms= Peso molecular dos gases na chaminé em base úmida (lb/lb-mol)

### Vazão nas Condições da Chaminé

$$Q = Vs_{avg} \times A \times 60$$

Q= Vazão dos gases nas condições da chaminé (ft<sup>3</sup>/min)

Vs<sub>avg</sub> = Velocidade média dos gases na chaminé (ft/s)

A= Área da seção da chaminé (ft<sup>2</sup>)

60= Conversão de segundos a minutos

### EPA 2-3 - Vazão dos Gases em Condições Normais

$$Qs = 3600 \times (1 - Bw_0) \times Vs_{avg} \times A \times (T_{std}/Ts_{avg}) \times (Ps/P_{std})$$

Qs= Vazão volumétrica dos gases em condições normais em base seca (ft<sup>3</sup>/h)

A= Área da seção da chaminé (ft<sup>2</sup>)

T<sub>std</sub> = Temperatura absoluta em condições normais (530 °R)

P<sub>std</sub> = Pressão absoluta em condições normais (29,92"Hg)

Bw<sub>0</sub> = Fração de vapor de água nos gases amostrados

Vs<sub>avg</sub> = Velocidade média dos gases na chaminé (ft/s)

Ts<sub>avg</sub> = Temperatura absoluta média na chaminé (°R)

Ps = Pressão absoluta na chaminé (in Hg)

### EPA 5-4 - Concentração de Material Particulado

$$Cs = (35,314 \text{ ft}^3/\text{m}^3) \times (Mn/Vm_{std})$$

Cs= Concentração de Material Particulado nos gases da chaminé (mg/Nm<sup>3</sup>)

Mn = Peso total das partículas coletadas (mg)

Vm<sub>std</sub> = Volume do gás amostrado em condições normais (ft<sup>3</sup>)

35,314= Conversão de ft<sup>3</sup> para m<sup>3</sup>

### Taxa de Emissão de Material Particulado

$$T.E. = Cs \times Qs \times (0,0283 \text{ Nm}^3/\text{ft}^3) \times (10^{-6} \text{ kg/mg})$$

T.E.= Taxa de emissão de Material Particulado (kg/h)

Cs = Concentração de Material Particulado nos gases da chaminé (mg/Nm<sup>3</sup>)

Qs = Vazão volumétrica dos gases em condições normais em base seca (ft<sup>3</sup>/h)

### EPA5-6 - Percentagem de Isocineticidade

$$I = \frac{T_s \times (((V_{lc} \times r_{H_2O} \times R) / (m_{H_2O} \times 453,6)) + (V_m / T_m) \times (P_b + (DH / 13,6)))}{60 \times (q \times V_s \times P_s \times A_n)} \times 100$$

I= Percentual de isocineticidade da amostragem (%)

V<sub>lc</sub>= Volume total do líquido coletado nos *Impingers* e na sílica gel (ml)

r<sub>H<sub>2</sub>O</sub>= densidade da água (1)

R = Constante dos gases ideais (21,83"Hg ft<sup>3</sup>/lb-mol x °R)

m<sub>H<sub>2</sub>O</sub> = Peso molecular da água (18 lb/lb-mol)

V<sub>m</sub> = Volume do gás medido nas condições do gasômetro (ft<sup>3</sup>)

T<sub>m</sub> = Temperatura média no gasômetro (°R)

P<sub>b</sub> = Pressão barométrica (in Hg)

DH= Pressão média no manômetro do orifício (in H<sub>2</sub>O)

T<sub>s</sub>= Temperatura absoluta média na chaminé (°R)

q= Duração total da amostragem (min)

V<sub>s</sub>= Velocidade média dos gases na chaminé (ft/s)

P<sub>s</sub> = Pressão absoluta na chaminé (in Hg)

A<sub>n</sub>= Área da boquilha

$$A_n = \frac{\pi d^2}{4} \left( \frac{1}{144} \text{ft}^2/\text{in}^2 \right) = \frac{\pi}{4} \times (d_{\text{boquilha}} \text{ (in)})^2 / 144$$

### Determinação do Diâmetro da Boquilha

$$D_n = \left( \frac{(0,0358 \times Q_m \times P_m)}{(T_m \times C_p \times (1 - B_w))} \times \left( \frac{T_s \times M_s}{P_s \times P_{\text{avg}}} \right)^{1/2} \right)^{1/2}$$

D<sub>n</sub> = Diâmetro da boquilha (in)

Q<sub>m</sub>= Constante empírica (0,75)

P<sub>m</sub> = Queda de pressão no orifício (in Hg)    P<sub>m</sub> = P<sub>b</sub> + (DH/13,6)

T<sub>m</sub> = Temperatura no medidor (°R)

C<sub>p</sub>= Coeficiente do tubo de *Pitot*

T<sub>s</sub>= Temperatura média na chaminé

M<sub>s</sub> = Peso molecular do gás úmido na chaminé

P<sub>s</sub>= Pressão total na chaminé (in Hg)

P<sub>avg</sub> = Média das leituras do *Pitot* - D<sub>p</sub> lido (média) (in H<sub>2</sub>O)

B<sub>w</sub> = Umidade dos gases (%)

### Determinação da Constante de Proporcionalidade entre DP e DH

$$DH = K \times D_p$$

$$K = 846,72 \times D_n^4 \times D_H \times C_p^2 \times (1 - B_w)^2 \times \left[ \frac{(M_d \times T_m \times P_s)}{(M_s \times T_s \times P_m)} \right]$$

onde:

K = Constante de proporcionalidade entre Dp e DH

846,72 = Conversão do sistema métrico para o inglês

Dn = Diâmetro da boquilha (in)

DHa = Fator de calibração do orifício

Cp = Coeficiente do tubo de *Pitot*

Bw = Umidade dos gases (%)

Md = Peso molecular em base seca (lb/lb-mol)

Tm = Temperatura no medidor (°R) (°F + 460)

Ps = Pressão total na chaminé (in Hg)

Ms = Peso molecular do gás úmido na chaminé (lb/lb-mol)

Ts = Temperatura média na chaminé (°R)

Pm = Queda de pressão no orifício (in Hg)  $P_m = P_b + (DH/13,6)$

## 6. Resultados e Discussão

A amostragem isocinética é realizada trimestralmente e deve ser feita em triplicata, como procedimento padrão para validação dos resultados encontrados nos monitoramentos realizados. Neste trabalho, será apresentada a amostragem efetuada no mês de março de 2005 na chaminé da caldeira 2, denominada 46GV02.

O processo consiste na geração de vapor através do aquecimento de água mediante à queima de diversos combustíveis, entre os quais destaca-se o carvão nas caldeiras 2 e 3. O controle das emissões das caldeiras é feito através da queima e do excesso de ar.

Os quadros a seguir apresentam os resumos dos resultados de material particulado das amostragens realizadas. O quadro 1 apresenta os dados de amostragem.

No quadro 2, constam os dados colhidos em campo na primeira amostragem.

| Número da Amostragem:                              |                     | 1        | 2        | 3        |
|--|---------------------|----------|----------|----------|
| Local da Amostragem                                |                     | 46GV02   | 46GV02   | 46GV02   |
| Data   |                     | 8/3/2005 | 8/3/2005 | 8/3/2005 |
| Início da Amostragem                               |                     | 09:30    | 09:30    | 12:00    |
| Término da Amostragem                              |                     | 10:35    | 10:35    | 13:03    |
| Vm - Volume de Gás Amostrado                       | ft <sup>3</sup>     | 48,629   | 48,629   | 49,064   |
| Vw - Volume de Condensado                          | ml                  | 63,4     | 98,35    | 73,16    |
| Tm - Temperatura Média no Amostrador               | ° R                 | 552,54   | 552,54   | 562,50   |
| Ts - Temperatura na Chaminé                        | ° R                 | 726,75   | 726,75   | 734,00   |
| Pb - Pressão Barométrica                           | in Hg               | 29,7     | 29,7     | 29,7     |
| Pe - Pressão Estática                              | in Hg               | -0,0500  | -0,0500  | -0,0529  |
| Ps - Pressão na Chaminé                            | in Hg               | 29,674   | 29,674   | 29,671   |
| Delta H - Pressão no Orifício                      | in H <sub>2</sub> O | 2,129    | 2,129    | 2,052    |
| Fator de Correção do Pitot                         |                     | 0,849    | 0,849    | 0,849    |
| Raiz de delta P - Leitura Média do Pitot           | in H <sub>2</sub> O | 0,8815   | 0,8815   | 0,8671   |
| A - Área da Chaminé                                | ft <sup>2</sup>     | 66,210   | 66,210   | 66,210   |
| Fator de Correção do Medidor                       |                     | 1,8191   | 1,8191   | 1,8191   |
| Peso de Material Particulado                       | g                   | 0,0483   | 0,0537   | 0,0528   |
| Tempo de Amostragem                                | min                 | 60       | 60       | 60       |
| Pang - delta P Médio                               | in H <sub>2</sub> O | 0,788    | 0,788    | 0,760    |
| Pm - Pressão Média no Medidor                      | in Hg               | 29,881   | 29,881   | 29,875   |
| Conc. de NO <sub>x</sub>                           | g/Nm <sup>3</sup>   | 0,2320   | 0,2313   | 0,2280   |
| Conc. de SO <sub>2</sub>                           | g/Nm <sup>3</sup>   | 0,9547   | 0,9615   | 0,9532   |
| Qm - Constante Empírica                            | cfm                 | 0,75     | 0,75     | 0,75     |
| Bw <sub>0</sub> - Umidade dos Gases (%)            |                     | 0,0606   | 0,0910   | 0,0699   |
| Ms - Peso Molec. do Gás Úmido na Cham.             | lb/lb-mol           | 29,358   | 28,990   | 29,249   |
| Md - Peso Molecular dos Gases Secos                | lb/lb-mol           | 30,091   | 30,090   | 30,094   |
| Vmstd - Volume amostrado std                       | ft <sup>3</sup>     | 46,574   | 46,574   | 46,150   |
| Vwstd - Volume de Vapor std                        | ft <sup>3</sup>     | 3,0052   | 4,6618   | 3,4678   |
| Delta H <sub>a</sub> - Fator de Calib. do Orifício |                     | 1,8191   | 1,8191   | 1,8191   |
| Fator do Volume de Gás Amostrado                   |                     | 0,9878   | 0,9878   | 0,9878   |
| Fator K  |                     | 2,96167  | 2,80837  | 2,93810  |
| Dn - Diâmetro da Boquilha (Teórico)                | in                  | 0,2345   | 0,2376   | 0,2361   |

Quadro 1: Entrada de dados.

|                          |                  |                 |                     |                        |             |                       |
|--------------------------|------------------|-----------------|---------------------|------------------------|-------------|-----------------------|
| Local                    | 46GV02           |                 |                     |                        |             |                       |
| Data                     | 8/3/2005         |                 |                     |                        |             |                       |
| Número da amostragem     | 1                |                 |                     |                        |             |                       |
| Tempo de Amostragem      | 60               | min             |                     |                        |             |                       |
| Horário inicial          | 09:30            |                 |                     |                        |             |                       |
| Horário final            | 10:35            |                 |                     |                        |             |                       |
| Pb - Pressão Atmosférica | 755              | mm Hg           |                     |                        |             |                       |
| Pe - Pressão Estática    | -0,68            | in H2O          |                     |                        |             |                       |
| Dn - Boquilha Usada      | 0,25             | in              |                     |                        |             |                       |
| Vol. Inicial no Medidor  | 222,7            | ft3             |                     |                        |             |                       |
| Vol. Final no Medidor    | 271,93           | ft3             |                     | Temperatura do Medidor |             |                       |
| Fator K utilizado        | 2,7              |                 |                     | (°F)                   |             |                       |
| Ponto                    | delta P (in H2O) | Raiz de delta P | de delta H (in H2O) | Entrada                | Saída       | Temp. da Chaminé (°F) |
| 1                        | 0,46             | 0,6782          | 1,242               | 87                     | 86          |                       |
| 2                        | 0,84             | 0,9165          | 2,268               | 90                     | 87          | 266                   |
| 3                        | 0,9              | 0,9487          | 2,430               | 92                     | 87          |                       |
| 4                        | 0,88             | 0,9381          | 2,376               | 95                     | 88          |                       |
| 5                        | 0,82             | 0,9055          | 2,214               | 96                     | 89          | 265                   |
| 6                        | 0,74             | 0,8602          | 1,998               | 97                     | 93          |                       |
| 7                        | 0,4              | 0,6325          | 1,080               | 93                     | 90          |                       |
| 8                        | 0,8              | 0,8944          | 2,160               | 95                     | 90          | 267                   |
| 9                        | 0,9              | 0,9487          | 2,430               | 97                     | 91          |                       |
| 10                       | 0,98             | 0,9899          | 2,646               | 99                     | 91          |                       |
| 11                       | 0,92             | 0,9592          | 2,484               | 100                    | 93          | 269                   |
| 12                       | 0,82             | 0,9055          | 2,214               | 101                    | 94          |                       |
| <b>Média</b>             | <b>0,788</b>     | <b>0,881</b>    | <b>2,129</b>        | <b>95,2</b>            | <b>89,9</b> | <b>266,8</b>          |

Quadro 2: Dados de campo – amostragem 1.

No quadro 3, a seguir, são apresentados os dados colhidos em campo na segunda amostragem realizada.

| Local                    | 46GV02           |                 |                        |             |             |                       |
|--------------------------|------------------|-----------------|------------------------|-------------|-------------|-----------------------|
| Data                     | 8/3/2005         |                 |                        |             |             |                       |
| Número da amostragem     | 1                |                 |                        |             |             |                       |
| Tempo de Amostragem      | 60               | min             |                        |             |             |                       |
| Horário inicial          | 09:30            |                 |                        |             |             |                       |
| Horário final            | 10:35            |                 |                        |             |             |                       |
| Pb - Pressão Atmosférica | 755              | mm Hg           |                        |             |             |                       |
| Pe - Pressão Estática    | -0,68            | in H2O          |                        |             |             |                       |
| Dn - Boquilha Usada      | 0,25             | in              |                        |             |             |                       |
| Vol. Inicial no Medidor  | 222,7            | ft3             |                        |             |             |                       |
| Vol. Final no Medidor    | 271,93           | ft3             | Temperatura do Medidor |             |             |                       |
| Fator K utilizado        | 2,7              |                 | (°F)                   |             |             |                       |
|                          |                  |                 |                        |             |             |                       |
| Ponto                    | delta P (in H2O) | Raiz de delta P | de delta H (in H2O)    | Entrada     | Saída       | Temp. da Chaminé (°F) |
| 1                        | 0,46             | 0,6782          | 1,242                  | 87          | 86          |                       |
| 2                        | 0,84             | 0,9165          | 2,268                  | 90          | 87          | 266                   |
| 3                        | 0,9              | 0,9487          | 2,430                  | 92          | 87          |                       |
| 4                        | 0,88             | 0,9381          | 2,376                  | 95          | 88          |                       |
| 5                        | 0,82             | 0,9055          | 2,214                  | 96          | 89          | 265                   |
| 6                        | 0,74             | 0,8602          | 1,998                  | 97          | 93          |                       |
| 7                        | 0,4              | 0,6325          | 1,080                  | 93          | 90          |                       |
| 8                        | 0,8              | 0,8944          | 2,160                  | 95          | 90          | 267                   |
| 9                        | 0,9              | 0,9487          | 2,430                  | 97          | 91          |                       |
| 10                       | 0,98             | 0,9899          | 2,646                  | 99          | 91          |                       |
| 11                       | 0,92             | 0,9592          | 2,484                  | 100         | 93          | 269                   |
| 12                       | 0,82             | 0,9055          | 2,214                  | 101         | 94          |                       |
| <b>Média</b>             | <b>0,788</b>     | <b>0,881</b>    | <b>2,129</b>           | <b>95,2</b> | <b>89,9</b> | <b>266,8</b>          |

Quadro 3: Dados de campo – amostragem 2.

No quadro 4, a seguir, constam os dados colhidos em campo da terceira amostragem.

|                          |                  |                 |                     |                |             |                       |
|--------------------------|------------------|-----------------|---------------------|----------------|-------------|-----------------------|
| Local                    | 46GV02           |                 |                     |                |             |                       |
| Data                     | 8/3/2005         |                 |                     |                |             |                       |
| Número da amostragem     | 3                |                 |                     |                |             |                       |
| Tempo de Amostragem      | 60               | min             |                     |                |             |                       |
| Horário inicial          | 12:00            |                 |                     |                |             |                       |
| Horário final            | 13:03            |                 |                     |                |             |                       |
| Pb - Pressão Atmosférica | 755              | mm Hg           |                     |                |             |                       |
| Pe - Pressão Estática    | -0,72            | in H2O          |                     |                |             |                       |
| Dn - Boquilha Usada      | 0,25             | in              |                     |                |             |                       |
| Vol. Inicial no Medidor  | 323              | ft3             |                     |                |             |                       |
| Vol. Final no Medidor    | 372,67           | ft3             |                     | Temperatura do |             |                       |
| Fator K utilizado        | 2,7              |                 |                     | Medidor (°F)   |             |                       |
|                          |                  |                 |                     |                |             |                       |
| Ponto                    | delta P (in H2O) | Raiz de delta P | de delta H (in H2O) | Entrada        | Saída       | Temp. da Chaminé (°F) |
| 1                        | 0,54             | 0,7348          | 1,458               | 100            | 97          |                       |
| 2                        | 0,76             | 0,8718          | 2,052               | 102            | 97          |                       |
| 3                        | 0,82             | 0,9055          | 2,214               | 104            | 98          | 273                   |
| 4                        | 0,82             | 0,9055          | 2,214               | 105            | 98          |                       |
| 5                        | 0,84             | 0,9165          | 2,268               | 106            | 99          |                       |
| 6                        | 0,74             | 0,8602          | 1,998               | 106            | 99          | <b>275</b>            |
| 7                        | 0,4              | 0,6325          | 1,080               | 105            | 100         |                       |
| 8                        | 0,74             | 0,8602          | 1,998               | 105            | 100         |                       |
| 9                        | 0,84             | 0,9165          | 2,268               | 107            | 100         | 274                   |
| 10                       | 0,88             | 0,9381          | 2,376               | 108            | 100         |                       |
| 11                       | 0,94             | 0,9695          | 2,538               | 110            | 102         |                       |
| 12                       | 0,8              | 0,8944          | 2,160               | 110            | 102         | 274                   |
| <b>Média</b>             | <b>0,760</b>     | <b>0,867</b>    | <b>2,052</b>        | <b>105,7</b>   | <b>99,3</b> | <b>274,0</b>          |

Quadro 4: Dados de campo – amostragem 3.

No quadro 5, constam os dados de leituras realizadas no laboratório.

E no quadro 6, é realizada uma avaliação geral dos dados obtidos e cálculos realizados.

No quadro 7, é apresentado um resumo dos resultados das amostragens realizadas.

|   |          |              |               |   |          |              |           |   |          |              |           |
|---|----------|--------------|---------------|---|----------|--------------|-----------|---|----------|--------------|-----------|
| Local   | 46GV02   |              |               | Local   | 46GV02   |              |           | Local   | 46GV02   |              |           |
| Data  | 8/3/2005 |              |               | Data  | 8/3/2005 |              |           | Data  | 8/3/2005 |              |           |
| Amostra   | 1        |              |               | Amostra   | 2        |              |           | Amostra   | 3        |              |           |
| <b>Massa de Água Coletada (g)</b>                 |          |              |               | <b>Massa de Água Coletada (g)</b>                 |          |              |           | <b>Massa de Água Coletada (g)</b>                 |          |              |           |
|   |          |              |               |   |          |              |           |   |          |              |           |
| Borbulhador                                       | Final    | Inicial      | Diferença     | Borbulhador                                       | Final    | Inicial      | Diferença | Borbulhador                                       | Final    | Inicial      | Diferença |
| 1   | 629,28   | 590,41       | 38,87         | 1   | 636,38   | 566,81       | 69,57     | 1   | 636,86   | 601          | 35,86     |
| 2   | 598,93   | 589,03       | 9,9           | 2   | 574,84   | 562,4        | 12,44     | 2   | 588,82   | 572,54       | 16,28     |
| 3   | 475,05   | 472,68       | 2,37          | 3   | 491,4    | 486,62       | 4,78      | 3   | 476,6    | 470,06       | 6,54      |
| 4   | 675,12   | 662,86       | 12,26         | 4   | 641,2    | 629,64       | 11,56     | 4   | 686,44   | 671,96       | 14,48     |
| Massa de água coletada                            |          | <b>Total</b> | 63,4          | Massa de água coletada                            |          | <b>Total</b> | 98,35     | Massa de água coletada                            |          | <b>Total</b> | 73,16     |
| <b>Análise dos Produtos de Combustão</b>          |          |              |               | <b>Análise dos Produtos de Combustão</b>          |          |              |           | <b>Análise dos Produtos de Combustão</b>          |          |              |           |
|   |          |              |               |   |          |              |           |   |          |              |           |
| CO2 (%)   | O2 (%)   | CO (%)       | N2 (%)        | CO2 (%)   | O2 (%)   | CO (%)       | N2 (%)    | CO2 (%)   | O2 (%)   | CO (%)       | N2 (%)    |
| 11,19   | 7,50     | 0            | 81,31         | 11,20   | 7,47     | 0            | 81,33     | 11,24   | 7,41     | 0            | 81,36     |
| <b>Massa de Material Particulado Coletado (g)</b> |          |              |               | <b>Massa de Material Particulado Coletado (g)</b> |          |              |           | <b>Massa de Material Particulado Coletado (g)</b> |          |              |           |
|   |          |              |               |   |          |              |           |   |          |              |           |
| Filtros   | Final    | Inicial      | Diferença     | Filtros   | Final    | Inicial      | Diferença | Filtros   | Final    | Inicial      | Diferença |
| 1   | 33,1228  | 33,0754      | 0,0474        | 2   | 32,1538  | 32,1007      | 0,0531    | 3   | 30,9387  | 30,886       | 0,0527    |
| BECKER 1  | 91,1584  | 91,1575      | 0,0009        | BECKER 3  | 127,3429 | 127,3423     | 0,0006    | BECKER 2  | 93,0449  | 93,0448      | 0,0001    |
|   |          |              | 0             |   |          |              | 0         |   |          |              | 0         |
|   |          |              | 0             |   |          |              | 0         |   |          |              | 0         |
|   |          |              | 0             |   |          |              | 0         |   |          |              | 0         |
|   |          |              | 0             |   |          |              | 0         |   |          |              | 0         |
| Massa de mat. part. col.                          |          | <b>Total</b> | 0,0483        | Massa de mat. part. col.                          |          | <b>Total</b> | 0,0537    | Massa de mat. part. col.                          |          | <b>Total</b> | 0,0528    |
|   |          |              |               |   |          |              |           |   |          |              |           |
| LD para material particulado.....                 |          | <b>0,3</b>   | <b>mg/Nm3</b> |   |          |              |           |   |          |              |           |

**Quadro 5:** Dados de laboratório.

|                                   |          |                            |             |       |  |
|-----------------------------------|----------|----------------------------|-------------|-------|--|
| DADOS DE ENTRADA:                 |          |                            |             |       |  |
| Local.....                        | 46GV02   |                            |             |       |  |
| Data.....                         | 8/3/2005 |                            |             |       |  |
| Início.....                       | 09:30    |                            |             |       |  |
| Término.....                      | 13:03    |                            |             |       |  |
| Consumo de Carvão.....            | 15,2     | ton/h                      | Pcalorífico | 4,42  |  |
| Consumo de Óleo 1.....            | 0,0      | ton/h                      | Pcalorífico | 10,08 |  |
| Consumo de Óleo 2.....            | 8,2      | ton/h                      | Pcalorífico | 9,75  |  |
| Consumo de Gás 2+ 4.....          | 0,5      | ton/h                      | Pcalorífico | 13,67 |  |
| Consumo de Gás 1.....             | 0,4      | ton/h                      | Pcalorífico | 11,5  |  |
| Consumo de Borra Oleosa.....      | 0,0      | ton/h                      | Pcalorífico | 9,87  |  |
| Consumo de Cera.....              | 0,0      | ton/h                      | Pcalorífico | 11,09 |  |
| Concentração de MP.....           | 39,25    | mg/Nm3                     |             |       |  |
| Concentração de MP corrigida      |          |                            |             |       |  |
| Para 6% de oxigênio.....          | 43,47    | mg/Nm3                     |             |       |  |
| Vazão Cond. Normais Saída.....    | 263009,7 | Nm3/h                      |             |       |  |
| * PODER CALORÍFICO DA MISTURA:    |          |                            |             |       |  |
| PC da mistura.....                | 6,51     | x 10 <sup>6</sup> kcal/ton |             |       |  |
| *EMISSÃO DE MATERIAL PARTICULADO: |          |                            |             |       |  |
| Emissão MP.....                   | 43,47    | mg MP/Nm3 (@ 6% O2)        |             |       |  |

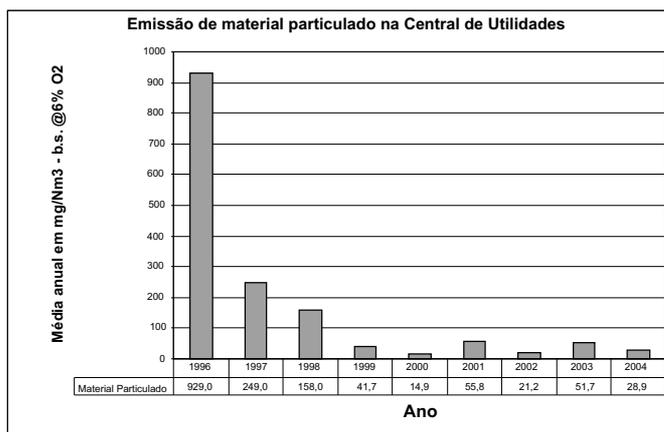
**Quadro 6:** Avaliação dos resultados.

| Parâmetro: MATERIAL PARTICULADO   |                                |  |  |       |   |          | Amostra            | Amostra  | Amostra  |        |
|---|--------------------------------|--|--|-------|---|----------|--------------------|----------|----------|--------|
|   |                                |  |  |       |   |          | 1                  | 2        | 3        |        |
| Data da Coleta  |                                |  |  |       |   |          | 8/3/2005           | 8/3/2005 | 8/3/2005 |        |
| Vazão do efluente gasoso  |                                |  |  |       |   |          |                    |          |          |        |
|   | - Q - base úmida               |  |  |       | m3/h  | 394354,3 | 396848,6           | 390624,9 |          |        |
|   | - Q <sub>nbs</sub> - base seca |  |  |       | Nm3/h   | 267943,0 | 260919,5           | 260166,6 |          |        |
| Umidade do efluente gasoso  |                                |  |  |       |   |          | (% vol)            | 6,06     | 9,10     | 6,99   |
| Temperatura do efluente gasoso  |                                |  |  |       |   |          | (°C)               | 130,42   | 130,42   | 134,44 |
| Pressão atmosférica   |                                |  |  |       |   |          | (mmHg)             | 755      | 755      | 755    |
| Velocidade do efluente gasoso   |                                |  |  |       |   |          | (m/s)              | 17,81    | 17,92    | 17,64  |
| Isocineticidade   |                                |  |  |       |   |          | %                  | 95,67    | 98,24    | 97,63  |
| Concentração de Material Particulado - Condição Normal base seca (@ 6% O <sub>2</sub> ) |                                |  |  |       |   |          | mg/Nm <sup>3</sup> | 40,68    | 45,14    | 44,59  |
| Taxa de emissão de Material Particulado   |                                |  |  |       |   |          | kg/h               | 9,81     | 10,62    | 10,51  |
| <b>REFERÊNCIA LICENÇA OPERAÇÃO (Valores Médios das Amostragens)</b>                     |                                |  |  |       |   |          |                    |          |          |        |
| *EMISSÃO DE MATERIAL PARTICULADO:   |                                |  |  |       |   |          |                    |          |          |        |
| Emissão MP.....   |                                |  |  | 43,47 | mg<br>MP/Nm <sup>3</sup><br>(@ 6%<br>O <sub>2</sub> ) |          |                    |          |          |        |

Quadro 7: Resumo dos resultados.

## 7. Conclusões

O resultado obtido na amostragem foi satisfatório pois os valores encontrados estão dentro dos padrões da legislação e correspondem a menos de 30% do valor máximo permitido pelo órgão fiscalizador, conforme comprova o gráfico da figura 9 a seguir.



**Figura 9:** Gráfico da emissão de MP na Central de Unidades.

O balanço das emissões atmosféricas, nos últimos anos, confirma as melhorias obtidas nas emissões totais de material particulado. As ações visando ao controle da emissão de material particulado dos gases de combustão das caldeiras permitiram uma redução em torno de 90% a partir de 1996.

Estas melhorias vêm sendo obtidas especialmente devido às alterações na matriz energética das caldeiras: substituição do carvão utilizado anteriormente por um tipo com maior poder calorífico (menor teor de cinzas e de enxofre) e substituição parcial do carvão por gás natural.

## 8. Referências

ABNT. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Normas NBR 10701, NBR 11967, NBR 10702, NBR 10700, NBR 12020, NBR 11966, NBR 12019 e NBR 12827.

ÁLVARES Jr., Olimpio de Melo; LACAVA, Carlos Ibsen Vianna; FERNANDES, Paulo Sérgio. **Emissões Atmosféricas**. Brasília: SENAI/DN, 2002.

**Amostragem em Chaminé**. Fundação Estadual de Engenharia do Meio Ambiente; Secretaria de Estado de Meio Ambiente e Projetos Especiais; Governo do Estado do Rio de Janeiro.

EPA. ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. Methods EPA 1, EPA 2, EPA 3, EPA 4, EPA 5 and EPA 17.

LO N° 6518/2004-DL

MACHADO JR., Mauro. **Qualidade do Ar**. Procedimento Interno COPESUL – PMA-CP-001-001 – Amostragens Isocinéticas em Fontes Estacionárias, Triunfo, 2004.

SANTOS, Marilin Mariano dos. **Curso de Amostragem de Material Particulado em Fontes Estacionárias**. Divisão de Engenharia Mecânica e Eletricidade Industrial; Agrupamento de Engenharia Térmica; Instituto de Pesquisa Tecnológica – IPT. São Paulo, 2004.

SOARES, W. 1994. Amostragem em Chaminé – Apostila da FEEMA, Rio de Janeiro.

PMA-CP-001-001. Procedimento Interno COPESUL.

## 9. AGRADECIMENTOS

À direção e aos funcionários da COPESUL, pelo estímulo e auxílio na realização deste trabalho.