

CETESB

COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL

CETESB CIA. DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL
BIBLIOTECA
AV. PROF. FREDERICO HERMANN JR., 345 CEP 05489 - PINHEIROS
SÃO PAULO - BRASIL

**RELATÓRIO DE CALIBRAÇÃO E
ANÁLISE DE PERFORMANCE DE
UM OPACIMETRO**

ABRIL/91

CLASS. I
AJ
10.1.1. 21654

8301
R524r (RCET)
021654
Ex. 2

GOVERNO DO ESTADO DE SÃO PAULO
Luiz Antonio Fleury Filho
Governador

SECRETARIA DO MEIO AMBIENTE
Alaor Caffé Alves
Secretário

CETESB
Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental
Walter Lazzarini Filho
Diretor-Presidente

RELATÓRIO DE CALIBRAÇÃO E ANÁLISE DE PERFORMANCE DE UM OPACIMETRO

I INTRODUÇÃO

Face à necessidade de se aprimorar às ações de controle da poluição atmosférica e conseqüentemente a qualidade do ar em Cuba - tã, este Setor de Testes de Equipamentos Ar-Agua - NPPE, tomou parte nos testes de calibração e análise de performance de um protótipo denominado "Opacimetro", atendendo solicitação de CB e sacramentada através do Memo 074/91/CB.

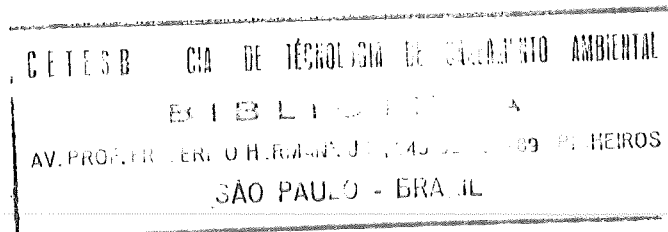
Objetiva-se neste relatório, a apresentação de recomendações e dos resultados obtidos nos testes, concluindo-se que o protótipo tem condições de atender as especificações das Normas utilizadas como referência.

II PRINCIPIO E APLICABILIDADE DO OPACIMETRO

O procedimento dos testes e especificações do Opacimetro foi baseado nas Normas do EPA; Método 9, Método Alternativo - 1 e Método de especificação e performance No. 1; estes métodos se encontram no CFR 40, parte 53 a 60 de 1/07/1989, "Code Federal Regulations".

O princípio é um sistema de medida por transmissometria. Havendo uma luz específica com espectral característico, esta é projetada a partir de uma fonte (lâmpada) através do efluente da chaminé ou duto onde a intensidade de luz é medida por um sensor e a luz projetada é atenuada pela absorção e dispersão do material particulado (MP) do efluente, sendo que a (%) porcentagem visível da luz atenuada é definida como opacidade quantitativa de uma emissão.

O dispositivo destina-se a realizar uma análise mais precisa em relação as emissões de fontes estacionárias, quanto ao visual, ou seja, a coloração e densidade da fumaça (Opacidade).



Emissões de chaminé transparente ocorrem quando a luz não é atenuada, alcançando uma transmitância de 100% ou 0% de opacidade.

Quando emissões de chaminé são opacas, toda a visibilidade da luz atenuada terá uma transmitância de 0% ou 100% de opacidade.

Esta especificação estabelece critérios específicos de projeto de um sistema de transmissometria.

Um opacimetro deverá possuir os seguintes sistemas :

1. Interface da amostra - parte do Opacimetro protegerá o analisador dos efeitos do efluente da chaminé e ajudará a manter limpa a superfície ótica .
2. Registro de dados - parte do Opacimetro que proporciona um registro permanente de uma análise da produção em função da opacidade .

III DEFINIÇÕES IMPORTANTES

- a) Transmissometria - parte do Opacimetro que inclui a interface da amostra e o analista.
- b) Transmitância - fração da luz incidente transmitida através de um instrumento ótico .
- c) Opacidade - fração da luz incidente atenuada por um sistema ótico. Opacidade (Op) e transmitância (Tr) , são relacionados por esta equação :

$$Op = 1 - Tr$$

- d) Densidade ótica - medida logarítmica de uma quantidade de luz incidente atenuada. A densidade ótica (D) está relacionada com uma transmitância e opacidade como se segue :

$$D = - \log Tr = - \log (1 - Op)$$

- e) Resposta de pico espectral - sensibilidade de um comprimento de onda máxima de um transmissômetro.
- f) Resposta espectral média - comprimento de onda que é um valor de uma média aritmética de uma distribuição de comprimento de onda por uma curva de resposta espectral efetiva de um transmissômetro .
- g) Angulo de visão - ângulo que contém toda a radiação detectável por uma linha do fotodetector de um analisador com um nível maior do que 2.5% do pico de resposta do detector.
- h) Angulo de projeção - ângulo que contém toda a radiação projetada por uma lâmpada de um analisador de nível maior do que 2.5% do pico de iluminescência
- i) Calibração do valor de escala - a calibração é feita através de uma simulação, utilizando valores diferentes de densidade ótica; isto é, a cada valor de densidade ótica conhecida, corresponderá a um valor percentual na escala do opacimetro.
- j) Erro de calibração - diferença entre o valor de opacidade indicado no Opacimetro e o valor conhecido de uma série de calibrações atenuadas (Filtros ou Anteparos) .
- k) Tempo de resposta - quantidade de tempo alocada ao "display" do Opacimetro sobre os registros de dados ,este deverá ser de 95% de um patamar de mudança na opacidade.
- l) Período de condicionamento - período de tempo de no mínimo 168 horas, durante o qual o Opacimetro é operado fora de qualquer manutenção planejada, reparo ou posterior ajuste para iniciar o período de teste operacional.

IV PROCEDIMENTOS DAS ANÁLISES E TESTES DE PERFORMANCE E ESPECIFICAÇÃO

Foram utilizados vários aparatos, alguns dos quais adaptados para atender e atingir o objetivo dos itens recomendados segundo as normas já citada.

As principais especificações que foram demonstradas são:

- 1 - Calibração - Atenuadores mínimos (3) tres, devem ser filtros óticos ou telas com o espectral neutro com características relacionadas e calibradas de acordo com as normas, dos quais são :
- série de filtros recomendados com os seus valores de densidade ótica (opacidade) de :

0.1 (20)	0.6 (75)
0.2 (37)	0.7 (80)
0.3 (50)	0.8 (84)
0.4 (60)	0.9 (88)
0.5 (68)	1.0 (90)

Esta especificação foi efetuada com a construção de filtros que a própria Digimed forneceu.

Estes filtros foram construídos no Departamento de Física da USP, os quais possuem os seguintes valores de opacidade (muito próximos dos valores recomendados) :

16.3% , 36.8% , 55.5% e 81.5%

Os filtros foram construídos e calibrados utilizando - se um dispositivo denominado de "PERKIN-ELMER" (curva de calibração em anexo I). Em outras palavras é um espectrofotômetro com vare - dura automática ou também chamado de fotômetro de luz dispersa universal.

- 2 - Valor de calibração da - um filtro ótico com a característica de um espectral neutro, uma tela ou outro dispositivo que produza um valor de opacidade que seja maior ou igual a opacidade padrão aplicável, porém nunca menor ou igual à metade do valor do "span" aplicado ao instrumento.
- 3 - Espectrofotômetro - O espectrofotômetro deverá possuir o mínimo de especificação, como segue:

Parâmetro	Especificação
faixa do comprimento de onda	- 400 a 700 nm
ângulo de visão do detector	- < 10
precisão	- < 0.5% da transmitância

Foram preparadas uma série de soluções con - tendo uma concentração conhecida, como segue:

Densidade ótica	%Op	Solução	Cg/mL
1.67210	49.5	Co +2	0.0756
1.50901	32.3	Co +2	0.03940
1.667	46.4	K2Cr207	0.00782
1.718	52.3	K2Cr207	0.0391
1.7812	60.4	K2Cr207	0.00156
1.9023	79.9	Fe +3	0.00558
1.772	59.1	Ni +2	0.20
1.846	70.1	Ni +2	0.10
1.9115	81.6	Fe +3	0.00279

Estas soluções tiveram como objetivo simular os filtros com uma certa opacidade e veri - ficar, nas faixas dos comprimentos de onda entre 500 a 600 nm, qual seria a resposta do opacimetro, pois, para cada comprimento de onda, há uma densidade ótica (D), consequentemente uma %Op (real).

Colocando estes filtros no opacimetro temos uma %Op (lida), com a %Op (real) e pudemos verificar qual o erro que o equipamento poderia apresentar em cada comprimento de onda.

Os comprimentos de onda verificados eram de 400 a 620 nm, ressaltando-se que foi feita uma varredura em intervalos de 20 nm.

4 - Resposta de pico e média espectral - Deverá ocorrer entre 500 e 600 nm a resposta do comprimento de onda abaixo de 500 ou acima de 600 nm deverá ser menor do que 10% da resposta do pico espectral.

5 - Angulo total de visão e de projeção- Deverá ser maior do que 5 graus, seguindo-se o procedimento realizado :

* desenhando um arco com raio de 3 m na direção horizontal e usando uma fonte de luz não direcional, mede-se a resposta do receptor de 5 cm sobre o arco de 30 cm do outro lado da linha central do detector. Repetir o teste na verti - cal.

Desta forma , para ambas as direções, calcular a resposta do receptor em função do ângulo de visão (26 cm de arco com um raio de 3 m igual a 5 graus).

6 - Influência da luz - O transmissômetro deverá minimizar as reflexões da luz. Esta comprovação deverá ser efetuada em laboratório.

CETESB - CIA. DE TECNOLOGIA E SANEAMENTO AMBIENTAL
BIBLIOTECA

V ESPECIFICAÇÃO DO OPACIMETRO

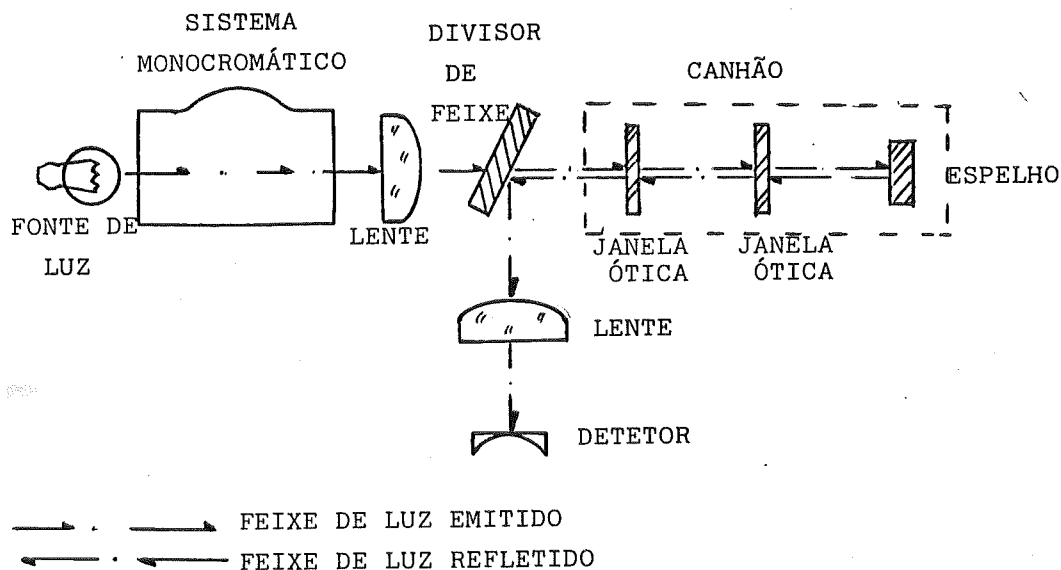
O OPACIMETRO "DIGIMED", testado, possui um canhão de 1500 mm, com um diâmetro de 102 mm com 7 janelas vazadas no seu canhão.

Todo o canhão, mais a câmara são constituídos em aço inox 316 e a caixa, onde está instalado todo o mecanismo ótico e eletrônico é à prova de água, explosão e corrosão. O mostrador digital em cristal líquido está situado na parte oposta ao canhão. Há também os ajustes manuais do grosso e fino para 0 e 100% de opacidade.

O peso deste equipamento é de aproximadamente 15 Kg e sua fonte de energia é de 220 Volts.

O equipamento vem acoplado com a unidade de ar comprimido, para alimentar e limpar as superfícies (espelho e lentes).

ESQUEMA DO FUNCIONAMENTO DO OPACIMETRO



VI RESULTADOS OBTIDOS

1 - Acondicionamento do equipamento

O equipamento esteve ligado por mais de 200 horas ininterruptas e observou-se que não houve instabilidade de sinal e nem descalibração .

2 - Calibração por meio de filtros (opacidade padrão)

Apos zerado foram colocados (4) quatro filtros com as seguintes opacidades :

16.3 % , 36.8% , 55.5% e 81.5%

Os filtros foram posicionados em cada metade dos segmentos perfurados no respectivo canhão. Os dados obtidos foram:

%Op	J A N E L A S							Média	ERRO %
	1	2	3	4	5	6	7		
16.3	17	16	17	16	16	17	16	16.43	0.79
36.8	37	36	36	36	36	36	36	36.14	1.8
55.5	54	54	55	55	55	55	55	54.71	1.4
81.5	81	81	82	82	81	81	81	81.29	0.26

Podemos afirmar que o opacimetro respondeu satisfatoriamente à simulação de opacidade (filtros). Segundo a Norma Americana a %ERRO poderá ser no máximo de 3% .

3 - Resposta espectral média

Foram efetuadas em laboratório simulações de filtros com certa opacidade , com o objetivo de averiguar qual a resposta espectral ou qual a sensibilidade do opacimetro em corresponder a determinados comprimentos de onda com um mesmo filtro, ou seja, com uma certa porcentagem de opacidade. Lembramos que os filtros utilizados estão descritos no item IV 1 deste relatório . Os resultados obtidos foram :

%Op	faixa de comprimento de onda	%ERRO
32.3	420 a 500 nm	1.5
49.5	400 a 520 nm	0.6
52.3	540 a 600 nm	1.6
59.1	500 a 600 nm	0.9
60.4	510 a 580 nm	2.0
70.1	500 a 600 nm	1.0
79.9	440 a 580 nm	1.15
82.0	420 a 620 nm	1.6

Verificamos que, mesmo trabalhando fora de sua faixa espectral, o opacimetro se comportou muito bem, atingindo o nível de no máximo 2% de erro. Sabendo-se que o dispositivo foi dimensionado para uma faixa espectral de trabalho de 500 a 600 nm sua performance foi excelente.

Lembramos também que o máximo de %erro permitido pela Norma do EPA (citado no item II) é de 3%. Sobre o aspecto da alta sensibilidade que foi percebido nas faixas espectrais a que foi submetido o opacimetro, isto é, justificado devido ao duplo feixe de luz existente, enquanto na Norma Americana citada acima, os opacímetros são de feixe simples.

4 - Calibração

O ajuste do fino e grosso do 0% e 100% Op deste opacimetro é de fácil acesso e bastante preciso. O "display" digital também é de fácil leitura.

5 - Tempo de resposta

O tempo de resposta é instantâneo, atendendo assim a mais uma especificação exigida pela Norma da EPA.

6 - Simulação de opacidade

O intuito deste ensaio foi avaliar como o equipamento "Opacimetro" se comportaria em termos de resposta ou seja, sua sensibilidade diante de uma emissão de poeira nas condições de uma chaminé.

O opacimetro foi colocado em um sistema de velometria contendo um fluxo, cuja velocidade foi de 15 m/s (média das velocidades de chaminés). O ponto de coleta, foi estabelecido segundo a Norma que prescreve a quantos diâmetros o opacimetro deverá estar a partir de uma singularidade.

O passo seguinte foi coletar poeiras, cuja origens são de fontes estacionárias localizadas em Cubatão.

As firmas coletadas foram :

- . Gespa - material gesso
- . Cosipa - material trióxido de ferro
processo sinterização
- . Indag - material Rocha moída superior
processo ciclonado
- . Cimento Sta Rita - material cimento
processo clinquer
material escoria

Após a coleta, as amostras foram beneficiadas, isto é, foram secas em estufas e analisadas granulometricamente em (6) seis diâmetros diferentes, as quais são : < 25 , 44,75, 88 , 105 e 125 um (micras) .

Para gerar estas poeiras e conseqüentemente aspergi-las para dentro do sistema de velometria, foi elaborado e construído um sistema de geração de poeira.

Este sistema teve por finalidade atomizar a poeira de maneira homogênea, isto é, não criando caminhos preferenciais dentro do duto da chaminé.

O objetivo foi de simular de uma maneira mais próxima as condições de uma chaminé.

Os resultados obtidos foram :

- . o tempo de geração alternou de 5 a 10 minutos e para cada 30 segundos foi calculada uma média de %Op.

FIRMA	MASSA GERADA (gramas)	O um (MICRAS)	%OP MAX	%OP MIN	%OP	%OPT
Gespa	70.3	88	20	8	14	-
	50.4	75	17	13	15	-
	50.0	44	16	10	13	-
	54.8	<25	13	9	11	-
						13
Cosipa (sinter)	105	75	20	9	15	-
	100	44	19	6	13	-
						14
Sta Rita (clinquer)	104	105	15	9	12	-
	103	44	22	11	17	-
	60	<25	18	11	15	-
						15
Sta Rita (escoria)	67	>125	11	9	10	-
	51	105	10	6	8	-
	52	88	13	7	10	-
	67	44	16	7	12	-
						10
Indag (cliconado)	80	>125	21	11	16	-
	78	88	25	12	18	-
	65	<25	28	10	19	-
						18

Nomenclatura usada :

% Op Máx = média da porcentagem de opacidade máxima dada em cada 30 segundos de emissão

% Op Min = média da porcentagem de opacidade mínima dada em cada 30 segundos de emissão

% Op = média das médias das porcentagens de opacidade de toda a emissão

% Opt = média total da porcentagem de opacidade de toda a emissão

Perante os resultados apresentados, podemos afirmar que o equipamento responde plenamente as emissões de "poeiras secas" em que o opacimetro foi testado.

Ressaltamos que, em campo, as condições serão bastante adversas, pois há um fator muito importante a ser levado em conta que é a "umidade e temperatura", tanto do efluente bem como do ambiente. Este agravante terá de ser averiguado somente no próprio campo, pelos técnicos da Regional de Cubatão. Desta maneira a avaliação será completa.

VII CONCLUSÃO

O EQUIPAMENTO " OPACIMETRO DO MÔDELO DM - OP 01 DA DIGIMED", atende plenamente as exigências de especificação, segundo a Norma em que foram baseados as diretrizes dos ensaios realizados.

VIII RECOMENDAÇÕES

Posteriormente, recomendamos que o opacimetro seja utilizado em campo, para que possamos analisar de uma maneira global o seu desempenho e comportamento de resposta ao tempo de uso.

O uso do equipamento fez com que pudéssemos averiguar e corrigir alguns detalhes, no sentido de melhorar o seu desempenho, tais como :

- a) instalar um integrador, ou seja, a cada 10 segundos o opacimetro forneceria a média (%Op). Isto melhoraria a leitura, pois caso uma fonte estacionária tivesse emissões não regulares, devido também à unidade que favorece este tipo de emissão, a leitura no "display" estaria variando rapidamente, dificultando ao técnico o registro do pico máximo e mínimo.
- b) melhorar o sistema de limpeza automático das lentes óticas em contacto com a poeira: recomendamos, então, a instalação de uma unidade de ar comprimido com uma pressão de serviço superior à atual.
- c) as entradas de ar na primeira câmara deverão estar na parte lateral, facilitando os engates das mangueiras de ar.
- d) fazer reparos e instalar um batente com área de superfície maior para a guilhotina, onde este anteparo tem como utilidade permitir a calibração do equipamento para 100%Op.
- e) para calibrar em campo o 0%Op, deverá ser construído um dispositivo em forma de um canudo, todo ele em cor preta, o qual será acoplado ao canhão. Desta maneira, não haverá influência da luz solar e, ao mesmo tempo, este canudo servirá como um anteparo para preservar e proteger o canhão no transporte.
- f) seja instalado uma saída transmissora de 4 a 20 mA no corpo do opacimetro, no sentido de acoplar uma indicação remota, um registro gráfico ou até um sistema do tipo PLC, para casos de monitoramento contínuo.
- g) recomendamos no futuro modelos sem proteção contra inconvenientes, como fontes com temperaturas altas ou com tipo de material particulado que não seja corrosivo. Desta maneira, o custo e seu peso seriam bem menores.

IX UTILIDADE DO OPACIMETRO

Com este equipamento em campo, poderíamos realizar vários trabalhos importantes no que tange ao controle da poluição do ar.

Em primeiro lugar, a avaliação facilitará ao técnico, inferir a ordem de grandeza de emissão em função da medida de opacidade obtida através do Opacimetro.

Segundo, poderá ter uma correlação futura quando forem efetuadas várias coletas de uma fonte, podendo assim ser calculado uma estimativa de uma taxa de emissão em função da %Op, relacionando condições como: Produção Kg/h, Pressão de Velocidade, Temperatura e Umidade do efluente, para no final, com todos estes parâmetros, construir uma curva que relaciona % Op versus Taxa de Emissão.

Esta correlação deverá ser estudada e considerada cuidadosamente, pois as variáveis envolvidas são bastante instáveis, dificultando assim o resultado pretendido.

Outra utilidade do opacimetro é podermos realizar um monitoramento contínuo de uma fonte, para casos que gostaríamos de estudar e avaliar com mais atenção, colocando-o em funcionamento por 24 horas ou mais. Tendo a mesma linha de pensamento podemos imaginar que se em todas as fontes prioritárias tivessem sido instalados um opacimetro, poderíamos ter em mãos os valores de opacidade para efetuar uma relação de qual as fontes que contribuirão em uma determinada região, para o comprometimento da qualidade do ar, no seu aspecto visual.

X EQUIPE TÉCNICA

Participaram dos ensaios os seguintes técnicos lotado na NPPE pertencente a NPP/NP/N :

Coordenação Técnica e Redação :

* Eng. Vincenzo Rivelli

Ensaio :

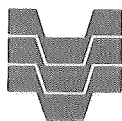
* Quim. Mateus Sales dos Santos

* Tec. Marcos Pie Cervera

* Tec. Jose Carlos G. do Amaral

São Paulo, 01 de abril de 1991

A N E X O I



CETESB

Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental

Av. Prof. Frederico Hermann Jr., 345 - Pinheiros

Fone: 210-1100 - Telex 1183053-CETS-BR

CEP 05489 - São Paulo - SP - Brasil