



AVALIAÇÃO DE EMISSÕES ATMOSFÉRICAS DE FONTE FIXA EM CALDEIRAS DO SETOR SUCROALCOOLEIRO

Patrícia Souza de Almeida¹

Claúdia Roberta Saladini²

Resumo: Este trabalho tem por objetivo a análise, após amostragem, dos efluentes gasosos emitidos pela fonte fixa de chaminés movida a bagaço-de-cana do processo de produção de álcool e energia, para determinar as suas concentrações e desta forma efetuar comparação com os limites máximos elencados pela legislação vigente (Resolução CONAMA N.º 382/2006). Para a determinação dos dados foram realizadas amostragens em furos feitos pela contratante no corpo da chaminé da caldeira movida a bagaço-de-cana, conforme NB 1202 (Determinação de pontos de amostragem em dutos e chaminés de fontes estacionárias). Além disso, foi realizada amostragem com o Coletor Isocinético de Partículas Atmosféricas – CIPA, de fabricação da TECNAL, modelo ISOTEC – TE – 750. Para melhor visualização, procedeu-se um comparativo entre os resultados obtidos pela amostragem e pela análise dos valores de referência determinados pela Resolução CONAMA n.º 382 de 26 de dezembro de 2006. Salienta-se para tanto que este estudo possui caráter pontual e único, todavia, o mesmo oferece condições positivas de avaliação no que se refere à quantidade de emissões para a atmosfera ocasionadas pelo processo de produção dos empreendimentos.

Palavra-chave: gases de combustão, queima do bagaço, eficiência da combustão.

INTRODUÇÃO

Desde tempos remotos a humanidade sofre com problemas relacionados a poluição do ar. Mas, em consequência da Revolução Industrial passou a ser sentida de uma forma relevante, pois as pessoas deixaram o meio rural para viver em grandes centros urbanos, e começaram desde então a utilizar o carvão mineral como fonte de energia (ASSUNÇÃO, 2004).

Durante a Revolução Industrial, a finalidade básica do vapor d'água era de mover turbinas e máquinas. E devido ao avanço das Indústrias, passou a ser utilizado em diversas áreas, tais como, alimentícia, lavanderias, fabricas de papel, usinas de açúcar e álcool, frigoríficos entre outros (ALTAFINI, 2002).

Segundo Torreira (1995) o equipamento bastante utilizado nas indústrias para a geração de vapor d'água é a caldeira, que produz o vapor a partir da energia térmica liberada pela combustão de uma fonte qualquer. A caldeira é composta por um trocador de calor e uma câmara de combustão (fornalha), além de diversos equipamentos integrados.

¹ Graduanda do Curso de Engenharia Florestal da UNIFIMES. paty14_sousa@hotmail.com

² Graduanda do Curso de Engenharia Florestal da UNIFIMES. claudia.saladini@outlook.com

Portanto é necessária a avaliação de emissões atmosféricas de fontes fixas das chaminés, sendo eles gases, vapores ou material particulado que quando acima de certas concentrações, causam ou podem causar danos ao meio ambiente ou à saúde.

Este trabalho tem por objetivo a análise, após amostragem, dos efluentes gasosos emitidos pela fonte fixa de chaminés movida a bagaço-de-cana do processo de produção de álcool e energia, para determinar as suas concentrações e desta forma efetuar comparação com os limites máximos elencados pela legislação vigente (Resolução CONAMA N0. 382/2006).

CARACTERIZAÇÃO DO EQUIPAMENTO A SER AMOSTRADO

As amostragens foram realizadas no ano de 2016 na chaminé de empresas Sucoalcoleiras do estado de Goiás, que apresentam as seguintes características técnicas.

Tabela 01. Característica e descrição da fonte amostrada – Caldeira.

| Características da caldeira | Descrição |
|---------------------------------|-------------------------------------|
| Empresa fabricante | HPB-SERMATEC |
| Categoria | A |
| Ano de fabricação | 2008 |
| Modelo - Tipo | VS 500 |
| Temperatura de Vapor | 490°C |
| Capacidade de produção de vapor | 200 t/h |
| Pressão máx. de trabalho | (P.M.T.A.) 79,6 Kgf/cm ² |
| Pressão de teste hidrostático | 119,4 Kgf/cm ² |
| Pressão de trabalho | 67,0 kgf/cm ² |
| Superfície de aquecimento | 3340 m ² |
| Altura da chaminé | 60,20 m |
| Diâmetro da chaminé | 3,82 m |
| Potência térmica nominal | 189,43 MW |
| Combustível utilizado | Bagaço de cana-de-açúcar |
| Temperatura de saída dos gases | 62°C |

O processo de geração de vapor ocorre através da alimentação automática da câmara de combustão da caldeira. Na câmara de combustão, o calor gerado aumenta o volume da água no interior da tubulação provocando o acionamento da turbina convertendo energia térmica em energia mecânica. Já os efluentes gasosos da combustão saem diretamente pela chaminé

PARÂMETROS A SEREM ANALISADOS

Foram definidos os seguintes parâmetros a serem amostrados e analisados na chaminé, os quais estão descritos a seguir:

- Monóxido de Carbono (CO)
- Dióxido de Carbono (CO₂)
- Óxidos de Nitrogênio (NO_x)
- Material Particulado (MP)
- Determinação de dióxido de enxofre e nevo ácido (SO_x e SO₂).
- Oxigênio (O₂)
- Temperaturas, Vazão, Velocidade e Umidade nas condições da chaminé.

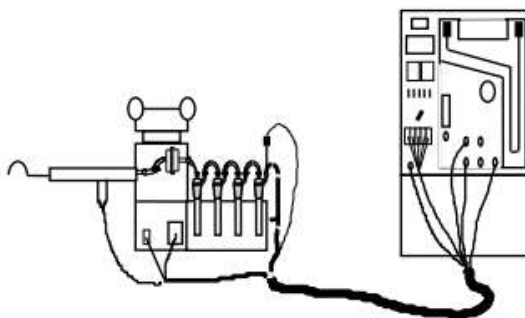
PONTOS DE AMOSTRAGEM

Para a determinação destes dados foram realizadas amostragens em furos feitos pela contratante no corpo da chaminé da caldeira movida a bagaço-de-cana, conforme NB 1202 (Determinação de pontos de amostragem em dutos e chaminés de fontes estacionárias).

EQUIPAMENTOS UTILIZADOS NA AMOSTRAGEM

Foi realizada amostragem com o Coletor Isocinético de Partículas Atmosféricas – CIPA, de fabricação da TECNAL, modelo ISOTEC – TE – 750, para determinar a taxa de emissão de material particulado, assim como conhecer velocidade, a temperatura, a vazão e a umidade nas condições da chaminé.

Figura 01. Esquema do equipamento de amostragem. Fonte: ANANTECN, 2012.



O parâmetro Óxidos de Nitrogênio, Dióxido de enxofre, Dióxido de Carbono, Oxigênio e Monóxido de Carbono foi medido utilizando-se o equipamento Coletor Testo 350 XL.

MÉTODOS ANALÍTICOS

Para a medição, determinação e a quantificação de cada parâmetro acima apresentado foram seguidos os métodos devidamente aprovados e em vigor. A tabela 02 apresenta o resumo dos métodos analíticos dos parâmetros determinados.

Tabela 02. Parâmetros a serem amostrados e analisados na lareira

| Parâmetros e métodos de análise | Método | Limite de Quantificação | Laboratório |
|--|--------------------|-------------------------|--|
| Monóxido de Carbono (CO) | EPA 10 | 0,1 mg/Nm ³ | Equipamento TESTO 350-XL |
| Dióxido de Carbono (CO ₂) | EPA 3 ^a | 0,01 % | Equipamento TESTO 350-XL |
| Dióxido de Nitrogênio (NO ₂) | EPA-7E | 0,1 mg/Nm ³ | Equipamento TESTO 350-XL |
| Óxidos de Nitrogênio | EPA-7E | 0,1 mg/Nm ³ | Equipamento TESTO 350-XL |
| Dióxido de enxofre e nevo ácida (SOX e SO ₂). | CETESB L9.228 | 0,1 mg/Nm ³ | Anantecn – Análise Tecnológica Ltda |
| Material Particulado (MP) | NBR 12020 | 0,1 mg/Nm ³ | Anantecn – Análise Tecnológica Ltda |
| Oxigênio (O ₂) | EPA 3A | 0,01 % | Equipamento TESTO 350-XL |
| Temperaturas, Vazão, Velocidade e Umidade nas condições da chaminé | EPA 5 / NBR 12020 | 0,1 mg/Nm ³ | Coletor Isocinético de Partículas Atmosféricas da TECNAL (ISOTEC-TE – 750) |

RESULTADOS

Os resultados obtidos com as amostragens de temperatura do ar, da fonte, dos gases na chaminé e do material particulada, assim como os valores calculados/corrigidos a 8% de oxigênio, conforme Resolução CONAMA 382/2006, estão descritos na tabela 03 e 04, a seguir.

Tabela 03. Resultados obtidos com as amostragens dos efluentes gasosos para emissões da caldeira.

| PLANILHA DE RESULTADOS | | | | | | | |
|------------------------|------------------------------------|-------|-------|--------------|---------|--------|-------------------------|
| Parâmetro | Resultados das corridas realizadas | | | | Unidade | Branco | Limite de quantificação |
| | 1 | 2 | 3 | MÉDIA | | | |
| T _{fonte} | 70,00 | 70,00 | 70,00 | 70,00 | °C | - | 0,01 |

| | | | | | | | |
|------------------------------|--------|-------|--------|---------------|--------------------|---|------|
| T_{ar} | 28,00 | 28,00 | 28,00 | 28,00 | °C | - | 0,01 |
| Oxigênio | 5,7 | 5,6 | 6,3 | 5,87 | % | - | 0,01 |
| CO₂ medido | 11,90 | 12,10 | 11,50 | 11,83 | % | - | 0,01 |
| CO₂ @ 8% | 10,11 | 10,21 | 10,17 | 10,17 | | | |
| CO medido | 124,0 | 103,0 | 98,0 | 108,33 | mg/Nm ³ | - | 0,1 |
| CO @ 8% | 105,36 | 86,95 | 86,67 | 92,99 | | | |
| NO_x medido | 55,5 | 56,4 | 58,2 | 56,70 | mg/Nm ³ | - | 0,1 |
| NO_x @ 8% | 47,16 | 47,61 | 51,47 | 48,75 | | | |
| NO medido | 54,0 | 55,0 | 57,0 | 55,33 | mg/Nm ³ | - | 0,1 |
| NO @ 8% | 45,88 | 46,43 | 50,41 | 47,57 | | | |
| NO₂ medido | 1,5 | 1,40 | 1,20 | 1,37 | mg/Nm ³ | - | 0,1 |
| NO₂ @ 8% | 1,27 | 1,18 | 1,06 | 1,17 | | | |
| SO₂ medido | 95,4 | 63,6 | 104,7 | 87,90 | mg/Nm ³ | - | 0,1 |
| SO₂ @ 8% | 81,06 | 53,69 | 92,59 | 75,78 | | | |
| nevoa acida medida | 24,30 | 24,30 | 12,90 | 20,50 | mg/Nm ³ | - | 0,1 |
| nevoa acida @ 8% | 20,65 | 20,51 | 11,41 | 17,52 | | | |
| SO₃ medido | 111,00 | 79,00 | 113,00 | 101,00 | mg/Nm ³ | - | 0,1 |
| SO₃ @ 8% | 94,31 | 66,69 | 99,93 | 86,98 | | | |
| MP medido | 18,0 | 58,0 | 71,0 | 49,00 | mg/Nm ³ | - | 0,1 |
| MP @ 8% | 15,29 | 48,96 | 62,79 | 42,35 | | | |

Tabela 04. Resultados da amostragem realizada com o Coletor Isocinético de Partículas Atmosféricas – CIPA, para caldeira.

| | | | | |
|---|--------------------|------|-------|-------|
| Concentração nos Gases | mg/Nm ³ | 18 | 58 | 71 |
| Concentração nos Gases Corr. a 8% de O ₂ | mg/Nm ³ | 15,3 | 49,0 | 62,8 |
| Taxa de Emissão | kg/h | 5,38 | 17,78 | 20,12 |

PLANILHA DE RESULTADOS

| Parâmetros | Unidade | 1 ^a Coleta | 2 ^a Coleta | 3 ^a Coleta |
|--------------------------------|-------------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|
| Hora de Início | hh:mm | 16:35 | 17:45 | 18:55 |
| Massa de Água Coletada | g | 99,50 | 133,00 | 103,00 |
| 24Volume de Gás Coletado | L | 990,10 | 981,60 | 902,40 |
| Temperatura do Gasômetro | K | 302,07 | 299,44 | 299,98 |
| Temperatura da Chaminé | K | 343,15 | 343,15 | 343,15 |
| Pressão Atmosférica | mmHg | 678 | 678 | 678 |
| Pressão no Gasômetro | mmHg | 680,5151 | 680,8271 | 680,3356 |
| Pressão Estática | mmHg | 0,35 | 0,35 | 0,35 |
| Massa Molecular Seca - MMS | g/mol | 30,14 | 30,14 | 30,14 |
| Média Raiz Delta P | (mmH ₂ O)1/2 | 3,45 | 3,67 | 3,32 |
| Média Delta H | mmH ₂ O | 33,42 | 37,67 | 30,98 |
| Diâmetro da Boquilha | mm | 6,00 | 6,00 | 6,00 |
| Diâmetro da Chaminé | m | 3,55 | 3,55 | 3,55 |
| Tempo de Coleta | minutos | 60 | 60 | 60 |
| Volume de Água Coletada - CNTP | NL | 123,8 | 165,5 | 128,2 |

| | | | | |
|-------------------------------|--------------------|-----------------|-----------------|-----------------|
| Volume de Gás Coletado - CNTP | NL | 801,7 | 802,1 | 735,6 |
| Umidade - (Pvva) | % v/v | 13,38 | 17,10 | 14,84 |
| Massa Mol. Úmida (MMU) | g/mol | 28,51609 | 28,06355 | 28,33825 |
| Velocidade | m/s | 13,62 | 14,61 | 13,14 |
| Vazão Condições Chaminé (Q) | m ³ /h | 485303 | 520579 | 468200 |
| Vazão CNTP - Qnbs | Nm ³ /h | 298705 | 306629 | 283305 |
| Isocinética Média | % | 94,02 | 91,64 | 90,96 |
| Dióxido de Carbono | % v/v | 11,94 | 11,94 | 11,94 |
| Oxigênio | % v/v | 5,722222 | 5,722222 | 5,722222 |
| Nitrogênio | % v/v | 82,32572 | 82,32572 | 82,32572 |
| <u>Monóxido de Carbono</u> | <u>% v/v</u> | <u>0,007613</u> | <u>0,007613</u> | <u>0,007613</u> |

Para melhor visualização, procedeu-se um comparativo entre os resultados obtidos pela amostragem e pela análise dos valores de referência determinados pela Resolução CONAMA n° 382 de 26 de dezembro de 2006, a qual estabelece os limites máximos de emissão de poluentes atmosféricos para fontes fixas. Na Tabela 05 é apresentado os limites que estão determinados juntamente com os resultados obtidos após amostragens, onde pode-se efetuar avaliação e a comparação dos valores com os de referência estabelecidos pela Resolução Conama 382/2006.

Tabela 05. Comparação de resultado obtido com a Resolução CONAMA 382/2006, Caldeira 1.

| PLANILHA DE RESULTADOS | | | | | | | |
|------------------------|------------------------------------|-------|-------|--------|---------|-------------------------|-------------|
| Parâmetro | Resultados das corridas realizadas | | | | Unidade | Limites CONAMA 382/2006 | Atendimento |
| | 1 | 2 | 3 | Média | | | |
| Tfonte | 70,00 | 70,00 | 70,00 | 70,00 | °C | - | Sim |
| Tar | 28,00 | 28,00 | 28,00 | 28,00 | °C | - | Sim |
| Oxigênio | 5,7 | 5,6 | 6,3 | 5,87 | % | - | Sim |
| CO2 medido | 11,9 | 12,1 | 11,5 | 11,83 | % | - | Sim |
| CO2 @ 8% | 10,11 | 10,21 | 10,17 | 10,17 | mg/Nm3 | - | Sim |
| CO medido | 124,0 | 103,0 | 98,0 | 108,33 | mg/Nm3 | 350 | Sim |
| CO @ 8% | 105,36 | 86,95 | 86,67 | 92,99 | mg/Nm3 | - | Sim |
| NOx medido | 55,5 | 56,4 | 58,2 | 56,7 | mg/Nm3 | - | Sim |
| NOx @ 8% | 47,16 | 47,61 | 51,47 | 48,75 | mg/Nm3 | - | Sim |
| NO medido | 54,0 | 55,0 | 57,0 | 55,33 | mg/Nm3 | - | Sim |
| NO @ 8% | 45,88 | 46,43 | 50,41 | 47,57 | mg/Nm3 | - | Sim |
| NO2 medido | 1,5 | 1,4 | 1,2 | 1,37 | mg/Nm3 | - | Sim |
| NO2 @ 8% | 1,27 | 1,18 | 1,06 | 1,17 | mg/Nm3 | - | Sim |
| SO2 medido | 95,4 | 63,6 | 104,7 | 87,9 | mg/Nm3 | - | Sim |
| SO2 @ 8% | 81,06 | 53,69 | 92,59 | 75,78 | mg/Nm3 | - | Sim |
| Nevoa acida medida | 24,30 | 24,30 | 12,9 | 20,50 | mg/Nm3 | - | Sim |
| Nevoa acida @ 8% | 20,65 | 20,51 | 11,41 | 17,52 | mg/Nm3 | - | Sim |
| SO3 medido | 111,0 | 79,00 | 113,0 | 101,0 | mg/Nm3 | - | Sim |

| | | | | | | | |
|-----------|-------|-------|-------|-------|--------|-----|-----|
| SO3 @ 8% | 94,31 | 66,69 | 99,93 | 86,98 | mg/Nm3 | - | Sim |
| MP medido | 18,0 | 58,0 | 71,0 | 49,0 | mg/Nm3 | 200 | Sim |
| MP @ 8% | 15,29 | 48,96 | 62,79 | 42,35 | mg/Nm3 | 200 | Sim |

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Depois de realizadas as amostragens de particulados e gases, de serem efetuadas as análises dos parâmetros determinados, no ponto de vista técnico, a chaminé apresentou excelente média de padrão de emissão, não sendo detectada a presença de gases poluentes, atendendo assim os limites permitidos pela legislação. Salienta-se para tanto que este estudo possui caráter pontual e único, todavia, o mesmo oferece condições positivas de avaliação no que se refere à quantidade de emissões para a atmosfera ocasionadas pelo processo de produção dos empreendimentos.

REFERÊNCIAS

ALTAFINI, Carlos R. **Curso de engenharia mecânica: Caldeiras**. Caxias do Sul: Universidade de Caxias do Sul, 2002.

ASSUNÇÃO, L. F. J. **Sistema de Gestão Ambiental. Manual Prático para Implementação de SGA e Certificação ISO 14.001**. Curitiba: Juruá, 2004. ASSUNÇÃO, J. V. Capítulo 4. Controle Ambiental do Ar. In: Curso de Gestão Ambiental, São Paulo: Manole, 2004.

BRAGA, Benedito. et al. **Introdução à Engenharia Ambiental: O desafio do desenvolvimento sustentável**. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2005.

FOGLIATTI, M. C.; FILIPPO, S.; GOUDARD, B. **Avaliação de Impactos Ambientais: Aplicação aos Sistemas de Transporte**. Rio de Janeiro: Interciência, 2004.

PHILIPPI, Jr. A.; MALHEIROS, T. F. Capítulo 12. Controle da Qualidade do Ar. In: **Saneamento, Saúde e Ambiente: Fundamentos para um desenvolvimento sustentável**. São Paulo: Manole, 2005.

PHILIPPI, Jr. A.; SILVEIRA, V. F. Capítulo 2. Saneamento Ambiental e Ecologia Aplicada. In: **Curso de Gestão Ambiental**. São Paulo: Manole, 2004.

TORREIRA, Raul P. **Geradores de Vapor**. São Paulo: Libris, 1995.