Ministério da Educação
Universidade Federal de Mato Grosso do Sul
Centro de Ciências Exatas e Tecnologia
Programa de Pós-Graduação em Tecnologias Ambientais

AVALIAÇÃO DOS POLUENTES ATMOSFÉRICOS E RUÍDO EMITIDOS POR UMA CALDEIRA FLAMOTUBULAR A ÓLEO COMBUSTÍVEL BPF 2A.

SERGIO MASSAFUMI OKANO

Dissertação apresentada para obtenção do grau de Mestre no Programa de Pós-Graduação em Tecnologias Ambientais da Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, na área de concentração em Saneamento Ambiental e Recursos Hídricos.

Orientador: Prof. Dr. Amâncio Rodrigues da Silva Júnior

Campo Grande – MS, Novembro de 2004

Dedico este trabalho à minha esposa Glória pelo apoio e carinho, e aos meus filhos Gabriel e Lucas pelas difíceis ausências no período de estudo.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a todos que, diretamente ou indiretamente contribuíram na realização desta pesquisa, em especial:

Ao professor Dr. Amancio Rodrigues da Silva Júnior, pela eficiente orientação dada durante esta pesquisa.

A Margaré Ribeiro Ide e ao professor Dr. Carlos Nobuyoshi Ide, pela revisão deste trabalho.

Ao professor Dr. Hamilton Germano Pavão, pela contribuição na elaboração da revisão bibliográfica.

Ao acadêmico de Engenharia Elétrica do DEL – UFMS, Ruben Barros Godoy, ao engenheiro eletricista Émerson João Saeki Fernandes e a acadêmica de Mestrado em Tecnologias Ambientais Margareth Hokama Shinzato, pelo companheirismo, durante a elaboração deste trabalho.

Ao Chefe de Divisão de Apoio e Manutenção do Hospital Universitário – UFMS, engenheiro mecânico Jefferson Dobes, pela atenciosa colaboração nas coletas de dados da caldeira.

Aos professores do PGTA, pelos conhecimentos oferecidos.

Aos operadores de caldeira: Claudeir da Silva, Eurípedes da Silva, João Ramão e Jorge Oliveira Borges, pela paciência e boa vontade durantes as medições desta dissertação.

RESUMO

O Hospital Universitário pertence à Universidade Federal de Mato Grosso do Sul e está localizado à rua Filinto Müller s/n, Vila Ipiranga, Campo Grande-MS. O vapor utilizado pelo Hospital é gerado por uma caldeira Flamotubular Horizontal com retorno de chama à óleo combustível BPF 2A, que atende a limpeza (lavanderia), nutrição (cozinha) e esterelização de equipamentos cirúrgicos (assepsia) do hospital. A preocupação com a localização da caldeira em área residencial e a insalubridade dos funcionários do hospital, levou a elaboração deste estudo.

Neste trabalho foram avaliadas as concentrações de monóxido de carbono (CO), dióxido de carbono (CO_2), monóxido de nitrogênio (NO), dióxido de nitrogênio (NO_2), óxido de nitrogênio (NO_x) e o nível de ruído produzido pela caldeira.

A fim de melhorar a eficiência da caldeira e diminuir a concentração de poluentes gasosos e níveis de ruído lançados ao meio ambiente, a caldeira foi submetida a uma reforma geral.

Os dados obtidos antes e após a reforma da caldeira foram comparados entre si e confrontados com a legislação pertinente a fim de avaliar a qualidade do ar. Verificou-se que após a reforma da caldeira as concentrações de CO, CO_2, NO_2 e o nível de ruído diminuíram, porém o de NO, NO_x e a temperatura de combustão do óleo combustível aumentaram. As comparações com os limites máximos permitidos pelo WORLD BANK (1998), CONAMA (1990), LORA (2000) e MTPS (2001) revelaram que a concentração de NO_x, CO e níveis de ruídos, estão em conformidade com a legislação, mas o de NO ficou acima dos valores exigidos pelas agências reguladoras ambientais de poluição atmosférica.

A geração térmica com a queima de óleo combustível BPF-2A (baixo ponto de fluidez – 2A), poderá levar a um incremento significativo na emissão de poluentes atmosféricos, em particular, o carbono (C) e os óxidos de nitrogênio (NO_x), que ocasionam impactos ambientais em nível global, regional ou local.

ABSTRACT

The University Hospital of the Universidade Federal de Mato Grosso do Sul is located at Filinto Muller Street, Vila Ipiranga, Campo Grande-MS. The steam utilized in the hospital for the purpose of laundry and kitchen item and sirurgical equipment sterilization (asepsis), is generated by an horizontal firetubular flame return type caldron that uses fuel oil 2A. Preoccupations concerning the localization of the caldron in a residential area as well as the health of workers, lead to the elaboration of this research.

In this research, concentrations of carbon monoxide (CO), carbon dioxide (CO_2), nitrogen monoxide (NO), nitrogen dioxide (NO_2) and other nitrogen oxides (NO_x), and the noise level produced by the caldron were evaluated.

In order to improve the caldron's energetic efficiency and diminish the production of polluting gases and the environmental noise levels around the caldron, an overhaul was carried out.

The data obtained before and after the caldron overhaul were contrasted, and compared to the pertinent legislation, in order to evaluate the air quality. It was verified that after the caldron overhaul, the CO, CO_2 and NO_2 concentrations, and the noise level had decreased; however, the concentrations of NO and NO_x, and the combustion temperature had increased. Comparision to CONAMA (1990), LORA (2000) and MTPS (2001), revealed that the NO_x and CO concentrations and noise levels were in conformity with legislation, but the NO concentrations were above the emission levels established by the atmospheric pollution environmental regulation agencies.

Thermal generation from fuel oil 2A (low fluidity point) may make a notable contribution to the levels of atmospheric pollutant emission, with particular regard, to carbon (C) and oxides of nitrogen (NO_x), potentially leading to environmental impacts at global, regional or local scales.

SUMÁRIO

RESUMO....iii
ABSTRACT iv
SUMÁRIO.... v
LISTA DE TABELAS xi
LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS xii
LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS xii
1 INTRODUÇÃO.... 1
2 OBJETIVOS.... 3
3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA 4
3.1. CALDEIRAS GERADORAS DE VAPOR.... 4
3.1.1. Elementos que Caracterizam uma Caldeira 7
3.1.2. Classificação das Caldeiras 7
3.1.3. Caldeiras Flamotubulares.... 8
3.1.4. Caldeiras Aquotubulares 11
3.1.5. Caldeiras Elétricas.... 12
3.1.6. Utilização do Vapor 13
3.2. POLUIÇÃO ATMOSFÉRICA 14
3.2.1. Características do Ar Atmosférico 14
3.2.2. Principais Poluentes Atmosféricos 15
3.2.3. Classificação dos Poluentes Atmosféricos 16
3.2.4. Classificação das Fontes Poluidoras do Ar 18
3.2.5. Características dos Poluentes Gasosos.... 19
3.2.6. Níveis de Concentrações dos Poluentes Atmosféricos 20
3.2.7. Conversão de mg/m^3 para ppm.... 21
3.2.8. Padrões de Qualidade do Ar 22
3.3. EFEITOS DA POLUIÇÃO ATMOSFÉRICA.... 25
3.3.1. Danos a Saúde Humana 26
3.3.2. Efeitos dos Poluentes Gasosos.... 27
3.3.3. Danos à Vegetação 28
3.3.4. Danos aos Materiais.... 29
3.3.5. Alterações do Clima, Visibilidade e Radiação Solar 30

3.3.6. Episódios de Poluição Atmosférica 30
3.3.7. Impacto de Caráter Regional 32
3.3.8. Impactos de Caráter Global 34
3.3.9. Atividades Industriais e Meio Ambiente 38
3.4. ÓLEO COMBUSTÍVEL 41
3.4.1. Classificação dos Óleos 41
3.4.2. Óleo Combustível 41
3.4.3. Composição Química do Óleo Combustível 42
3.5. CONCEITOS BÁSICOS DA COMBUSTÃO 42
3.5.1. Combustão 42
3.5.2. Combustível 43
3.5.3. Classificação dos Combustíveis 44
3.6. POLUIÇÃO SONORA 44
3.6.1. Decibel Acústico – dB (A) 44
3.6.2. Interferência da Poluição Sonora no Homem 46
3.6.3. Padrões de Emissão de Ruídos 48
3.6.4. Controle da Poluição Sonora 49
4 MATERIAIS E MÉTODOS 52
4.1. MATERIAIS 52
4.1.1. CARACTERÍSTICAS DA CALDEIRA 53
4.1a - Classificação da Caldeira 53
4.1b - Características de Construção 54
4.1c - Sistema de Alimentação de Combustível 54
4.1d - Sistema de Alimentador de Ar e Exaustão de Gases 54
4.1e - Sistema de Alimentação de Água 55
4.1f - Manutenção e Segurança 55
4.1g – Operadores da Caldeira 55
4.1h – Horário de Funcionamento 56
4.1.2. ANALISADOR DE POLUENTES ATMOSFÉRICOS 56
4.1.3. DECIBELÍMETRO 58
4.1.4. REFORMA DA CALDEIRA 60
4.2. MÉTODOS. 63
5 RESULTADOS 66

5.1. Resultados antes da reforma da caldeira. 66
5.2. Resultados após a reforma da caldeira 77
5.3. Comparação dos Poluentes Gasosos e Ruídos Sonoros antes e Após a Reforma 88
6 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES 93
6.1 Conclusões 93
6.2 Recomendações 94
7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS 97

LISTA DE FIGURAS

Figura 3.1 - Caldeira primitiva em estrutura fechada de tijolos.....6
Figura 3.2 - Classificação das caldeiras quanto à classe de pressão 8
Figura 3.3 – Troca de calor numa caldeira Flamotubular 9
Figura 3.4 – Corte esquemático de uma caldeira Flamotubular horizontal (escocesa) com retorno de chama.....10
Figura 3.5 – Esquemático de uma caldeira aquotubular 11
Figura 3.6 – Efeito do CO sobre a saúde humana 28
Figura 3.7 – Efeito dos óxidos de nitrogênio (NO_2) sobre as plantas 29
Figura 3.8 – Condições normais sem inversão térmica.....33
Figura 3.9 – Condições na ocorrência de inversão térmica 33
Figura 3.10 – Efeito estufa e poluentes envolvidos 35
Figura 3.11 – Triângulo do fogo na combustão 43
Figura 4.1 – Caldeira Flamotubular a Óleo Combustível instalada no Hospital Universitário da UFMS – Campo Grande – MS.....53
Figura 4.2 – Analisador de Poluentes Atmosféricos da TESTO – 350 XL.....56
Figura 4.3 – Decilbelímetro Minipa, modelo MSL-1351.....59
Figura 4.4 – Tubos de fogo impregnados por crosta de carbonato de cálcio retirados para reforma.....62
Figura 4.5 – Vista frontal da caldeira após substituição dos tubos de fogo em disposição trapezoidal.....62
Figura 4.6 – Detalhe esquemático da seção transversal da chaminé com os pontos onde foram medidos as concentrações de poluentes atmosféricos. 64
Figura 4.7 – Esquemático da chaminé da caldeira com locais onde foram realizadas as medições dos poluentes atmosféricos.....65
Figura 5.1– Concentrações de CO medido dentro da chaminé, antes da reforma da caldeira.....68
Figura 5.2 – Concentrações de CO_2 medido dentro da chaminé, antes da reforma. 68
Figura 5.3 – Concentrações de NO medido dentro da chaminé, antes da reforma da caldeira.....69
Figura 5.4 – Concentrações de NO_2 dentro da chaminé, antes da reforma da caldeira.....69
Figura 5.5 – Concentrações de NO_x dentro da chaminé, antes da reforma da caldeira.....70

Figura 5.6 – Concentrações de CO medido na base da chaminé, antes da reforma da caldeira. 72
Figura 5.7 – Concentrações de NO na base da chaminé, antes da reforma da caldeira. 72
Figura 5.8 – Concentrações de NO a 10m da base da chaminé, antes da reforma da caldeira. 74
Figura 5.9 – Níveis de ruídos a 1m da caldeira antes da reforma. 75
Figura 5.10 – Níveis de ruídos a 2m da caldeira, antes da reforma. 75
Figura 5.11 – Níveis de ruídos a 4m da caldeira, antes da reforma. 76
Figura 5.12 – Níveis de ruídos a 8m da caldeira, antes da reforma. 76
Figura 5.13 – Concentrações de CO dentro da chaminé, após a reforma da caldeira. 79
Figura 5.14 – Concentrações de CO_2 dentro da chaminé, após a reforma da caldeira. 79
Figura 5.15 – Concentrações de NO dentro da chaminé, após a reforma da caldeira. 80
Figura 5.16– Concentrações de NO_2 dentro da chaminé, após a reforma da caldeira. 80
Figura 5.17 – Concentrações de NO_x dentro da chaminé, após a reforma da caldeira. 81
Figura 5.18 – Concentrações de CO na base da chaminé, após a reforma da caldeira. 83
Figura 5.19 – Concentrações de NO na base da chaminé, após a reforma da caldeira. 83
Figura 5.20 – Concentrações de NO a 10m da base da chaminé, após a reforma da caldeira. 85
Figura 5.21 – Níveis de ruídos a 1m da caldeira após a reforma. 86
Figura 5.22 – Níveis de ruídos a 2m da caldeira, após a reforma. 86
Figura 5.23 – Níveis de ruído a 4m da caldeira, após a reforma. 87
Figura 5.24 – Níveis de ruídos a 8m da caldeira, após a reforma. 87
Figura 5.25 – Emissão de fumaça no momento de partida da caldeira, antes da reforma. 90
Figura 5.26 – Emissão de fumaça no momento de partida da caldeira, após a reforma 91

LISTA DE QUADROS

Quadro 4.1 – Dados técnicos na medição de O_2 e CO do analisador de poluentes atmosféricos TESTO – 350 XL 57
Quadro 4.2 – Dados técnicos na medição de CO_2, NO e NO_2 do analisador de poluentes atmosféricos TESTO – 350 XL 57
Quadro 5.1 – Concentrações de poluentes lançados pela caldeira e condições atmosféricas antes da reforma da caldeira. 67
Quadro 5.2 – Concentrações de poluentes e condições atmosféricas na base da chaminé da caldeira, antes da reforma. 71
Quadro 5.3 – Concentrações de poluentes atmosféricos e condições atmosféricas à 10m da base da chaminé da caldeira, antes da reforma. 73
Quadro 5.4 – Emissões de ruídos gerados pela caldeira antes da reforma. 74
Quadro 5.5 – Concentrações de poluentes atmosféricos lançados pela chaminé e condições atmosféricas após reforma da caldeira. 78
Quadro 5.6 – Concentrações de poluentes atmosféricos e condições atmosféricas na base da chaminé, após a reforma da caldeira. 82
Quadro 5.7 – Concentrações de poluentes atmosféricos a 10m da base da chaminé e condições atmosféricas após reforma da caldeira 84
Quadro 5.8 – Emissões de ruídos sonoros gerados pela caldeira após reforma. 85
Quadro 5.9 – Média aritmética dos poluentes gasosos antes e após a caldeira ser reformada. 88
Quadro 5.10 – Média aritmética dos poluentes gasosos na base da chaminé, antes e após a reforma. 89
Quadro 5.11 – Média Aritmética dos poluentes gasosos medidos a 10m da chaminé da caldeira, a altura de 1,5m do solo, antes e após a reforma da caldeira. 90
Quadro 5.12 – Níveis de ruídos emitidos pela caldeira antes e após a reforma geral da caldeira. 92

LISTA DE TABELAS

Tabela 3.1– Principais poluentes atmosféricos, origens e conseqüências.....17
Tabela 3.2 – Tempo de permanência e concentrações de poluentes. 18
Tabela 3.3 – Concentração média de poluentes no ar limpo e contaminado.....20
Tabela 3.4 – Padrões de concentrações máximas de poluentes no ar ambiente conforme EPA-NAAQS.....23
Tabela 3.5 – Limites máximos de poluentes atmosféricos nas emissões gasosas de usinas termelétricas. 23
Tabela 3.6 – Padrões de qualidade do ar segundo resolução CONAMA nº 3 de 28/06/90 24
Tabela 3.7 – Padrões de qualidade do ar para o Estado de São Paulo segundo o Decreto Estadual nº 8468 de 08/09/76.....24
Tabela 3.8 – Qualidade do Ar adotado pela CETESB no Estado de São Paulo 25
Tabela 3.9 – Consumo de ar pelo homem de acordo com a atividade física 27
Tabela 3.10 – Critérios para episódios agudos de poluição do ar.....32
Tabela 3.11 – Faixa segura de temperatura operacional em tanque de armazenagem de óleo combustível. 41
Tabela 3.12 – Índice percentual dos elementos que compõe o óleo combustível 42
Tabela 3.13 - Tipos e níveis de escala de som. 45
Tabela 3.14 – Interferências causadas ao homem de acordo com a exposição a ruídos contínuos.....46
Tabela 3.15 – Relação dos limites de tolerância a ruídos sem que se resulte danos ao ouvido humano em ambiente de trabalho. 47
Tabela 3.16 – Níveis sonoros recomendados para os tipos de uso do solo. 48
Tabela 3.17 – Níveis de ruídos compatíveis com o conforto acústico.....49

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

ABNT–NBR – Associação Brasileira de Normas Técnicas – Norma Brasileira.

ABNT–NR – Associação Brasileira de Normas Técnicas – Norma Regulamentadora.

ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica.

ANSI – American National Standards Institute

API – American Petroleum Institute.

BPF – Baixo Ponto de Fluidez.

CETESB – Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental.

CFCs – Clorofluorcarbonos.

CNP – Conselho Nacional do Petróleo.

CONAMA – Conselho Nacional do Meio Ambiente.

COVs – Compostos Orgânicos Voláteis.

EMC (CE) – Electromagnetic Compatibility (European Community)

EPA – Environment Protection Agency.

GEMS – Sistema Global de Monitoramento Ambiental.

HC – Hidrocarboneto.

IBAMA – Instituto Brasileiro do Meio Ambiente.

IEC – International Engineering Consortium.

INMET – Instituto Nacional de Meteorologia.

MP – Material Particulado.

MPS – Material Particulado em Suspensão.

MTE – Ministério do Trabalho e Emprego.

MTPS – Ministério de Trabalho e Previdência Social.

NAAQS – Natural Ambient Air Quality Standards.

OMS – Organização Mundial de Saúde.

PA – Pressão atmosférica

PAN – Peróxicetil nitrato.

PHS – Hidrocarbonetos Aromáticos Policíclicos.

PMS – Peso Molecular da Substância.

PMTS – Pressão Máxima de Trabalho Permitido.

PO – Ponto de Orvalho

PROCOVE – Programa de Controle da Poluição do Ar por Veículos Automotores.

PRONAR – Programa Nacional de Controle da Qualidade do Ar.

PTS – Partículas Totais em Suspensão.

SEMACE – Superintendência Estadual do Meio Ambiente.

SENAI–DN – Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial – Departamento Nacional.

TA – Temperatura Ambiente

TF - Temperatura do Fluido

UNEP – United Nations Environment Protection.

UR – Umidade Relativa do Ar

VOC – Composto Orgânico Volátil

1 INTRODUÇÃO

Mato Grosso do Sul, como em qualquer outra região, participa das mudanças climáticas mundiais, oriundos das atividades agrícolas e industriais que provocam impactos diretos sobre a saúde humana, vida animal, vegetação e materiais.

Com o crescimento da atividade industrial e desenvolvimento de Mato Grosso do Sul, observa-se também, um crescimento dos impactos ambientais causados com: o crescimento da população; a sua urbanização descontrolada; o consumo e desperdício de energia; os processos industriais poluentes; a geração de energia e a poluição do ar em áreas metropolitanas e industriais.

A poluição do ar tem sido extremamente pesquisada nas últimas décadas e, atualmente, caracteriza-se como um fator de grande importância na busca da preservação do meio ambiente e na implantação de um desenvolvimento sustentável, pois esta poluição afeta de diversas formas a saúde humana, os ecossistemas e os materiais.

Originalmente, pensava-se, que a atmosfera era suficientemente grande e que os problemas de poluição do ar gerados pela ação antropogênicas ficariam restritos aos ambientes fechados ou áreas muito próximas das fontes de poluição. Muito se avançou na avaliação dos problemas de poluição do ar em diferentes escalas de influência, passando pelas áreas próximas de zonas industriais, grandes centros urbanos, o transporte entre regiões, e finalmente, a contaminação em escala global, como por exemplo, os efeitos sobre a camada de ozônio na estratosfera e efeito estufa que podem provocar alterações climáticas no planeta.

Os programas desenvolvidos junto às principais fontes de poluentes adotam como estratégia a exigência de medidas baseadas na melhor tecnologia de controle, visando reduzir os níveis de poluição nas áreas tidas como saturadas em relação aos padrões de qualidade do ar.

Apesar do Estado de Mato Grosso do Sul, não ser predominantemente industrial e os efeitos dessa atividade não o coloque em destaque nacional, entende-se que o meio ambiente tem se tornado o foco de interesse da sociedade como um todo, porque o problema ambiental já é uma questão de sobrevivência da própria espécie humana.

Regiões próximas a fontes poluidoras merecem atenção especial e têm sido motivos de investimentos por parte das Secretarias do Meio Ambiente.

A questão ambiental, constitui-se um parâmetro de competitividade para a indústria, já que, qualquer que seja o cenário, haverá uma crescente demanda por tecnologias de produção mais limpa e uma necessidade de adequação aos mecanismos reguladores de barreiras técnicas e comerciais, aos direitos do consumidor e ao exercício da cidadania que contemplam a preocupação com o meio ambiente.

Ressalta-se que devem ser desenvolvidos esforços adicionais no controle de impactos ambientais, no controle dos consumos, na utilização de combustíveis mais limpos e na instalação de equipamentos de controle de emissões.

Este trabalho poderá ser objeto de estudo em outros projetos de pesquisas relacionados à emissões de gases poluentes por geradores de energia à combustíveis fósseis.

2 OBJETIVOS

O objetivo deste trabalho foi avaliar quantitativamente os poluentes atmosféricos: monóxido de carbono (CO), dióxido de carbono (CO_2), monóxido de nitrogênio (NO), dióxido de nitrogênio (NO_2), óxido de nitrogênio (NO_x) e de ruídos gerados por uma caldeira flamotubular à óleo combustível BPF2A, utilizada na geração de vapor, a fim de avaliar o estado do ar ambiente e os níveis de ruídos sonoros nas proximidades do local de medição, e comparar os resultados obtidos com os padrões exigidos pelas legislações nacionais e internacionais.

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Para o desenvolvimento deste trabalho foram pesquisados estudos sobre caldeiras geradoras de vapor, poluição atmosférica, efeitos da poluição atmosférica, óleo combustível, conceitos básicos da combustão e poluição sonora.

3.1.CALDEIRAS GERADORAS DE VAPOR

A crescente necessidade de produção leva o homem ao aprimoramento e racionalização da transformação dos materiais.

Segundo ARRUDA (1977) em 130 a.C., Heron de Alexandria criou a Eolipila, uma forma bem rudimentar de turbina a vapor, que iria provocar séculos mais tarde, uma verdadeira revolução industrial, com a invenção da máquina a vapor, conforme evolução que se segue:

- Utilizada por Thomas Sarveny no trabalho de extração de água em minas, a nova máquina foi aperfeiçoada, passando a funcionar com cilindro e êmbolo a partir de 1705.

- James Watt, em 1763, estudando a nova máquina a vapor, chegou a outras conclusões e terminou por inventar o seu próprio tipo, que corresponde, aproximadamente, a moderna máquina a vapor.

- Em 1782, James Watt patenteou um novo modelo, que consistia numa máquina rotativa de ação dupla, que permitiu o aproveitamento do vapor para impulsionar toda espécie de mecanismo capaz de transformar energia térmica em energia mecânica.

- Depois de James Watt, em torno de 1800, Richard Tvevithick e Oliver Evans, observando o fenômeno de alta pressão, aperfeiçoaram a engenhosa máquina, que logo teve aplicação nas locomotivas e rapidamente na navegação. Esta última, é atribuída aos americanos Robert Fulton, que depois de algumas

experiências malogradas no Rio Sena, conseguiu cruzar o Rio Hudson dando início à navegação comercial.

TORREIRA (1995), descreve a caldeira a vapor como sendo um trocador de calor complexo, que produz vapor de água sob pressões superiores a da atmosférica, a partir da energia térmica de um combustível, constituído por diversos equipamentos associados e perfeitamente integrados para permitir a obtenção do maior rendimento térmico possível.

Na produção de vapor mediante a aplicação do calor que desprendem dos combustíveis ao serem queimados nos geradores de vapor, desenvolve-se o seguinte processo evolutivo: a água recebe calor através da superfície de contato, que com o aumento da temperatura e atingida a temperatura de ebulição, muda de estado físico transformando-se em vapor sob determinada pressão, superior a atmosférica. Essencialmente, uma caldeira é um recipiente no qual a água introduzida é evaporada continuamente pela aplicação de calor. Primitivamente montada sobre uma estrutura fechada de tijolos, o combustível era queimado sobre uma grelha sistemada no interior da estrutura supradita, sendo o calor direcionado diretamente para a parte inferior do recipiente antes de sair em grande proporção para a atmosfera e pelo tubo da chaminé observado na figura 3.1.

Qualquer tipo de caldeira, sempre estará composta por três partes essenciais: A fornalha ou câmara de combustão, a câmara de água e a câmara de vapor.

A fornalha ou câmara de combustão é à parte da caldeira, onde se queima o combustível utilizado para a produção de vapor. A fornalha é constituída por uma câmara, no interior da qual, e mediante combustores ou queimadores, é injetado o combustível gasoso, líquido ou pulverizado, que queima ao entrar em contato com o ar comburente introduzido na fornalha.

As câmaras de água e vapor constituem as superfícies internas de caldeira propriamente dita. São constituídas de recipientes metálicos herméticos de alta resistência a pressão em forma de invólucros cilíndricos, coletores e tubos, devidamente comunicados entre eles, que na sua face interna contém a água a ser vaporizada, estando a quase totalidade da superfície externa em contato com as

chamas ou gases da combustão. A parte inferior deste recipiente recebe o nome de câmara de água; o espaço limitado entre a superfície da água e a parte superior denomina-se câmara de vapor.

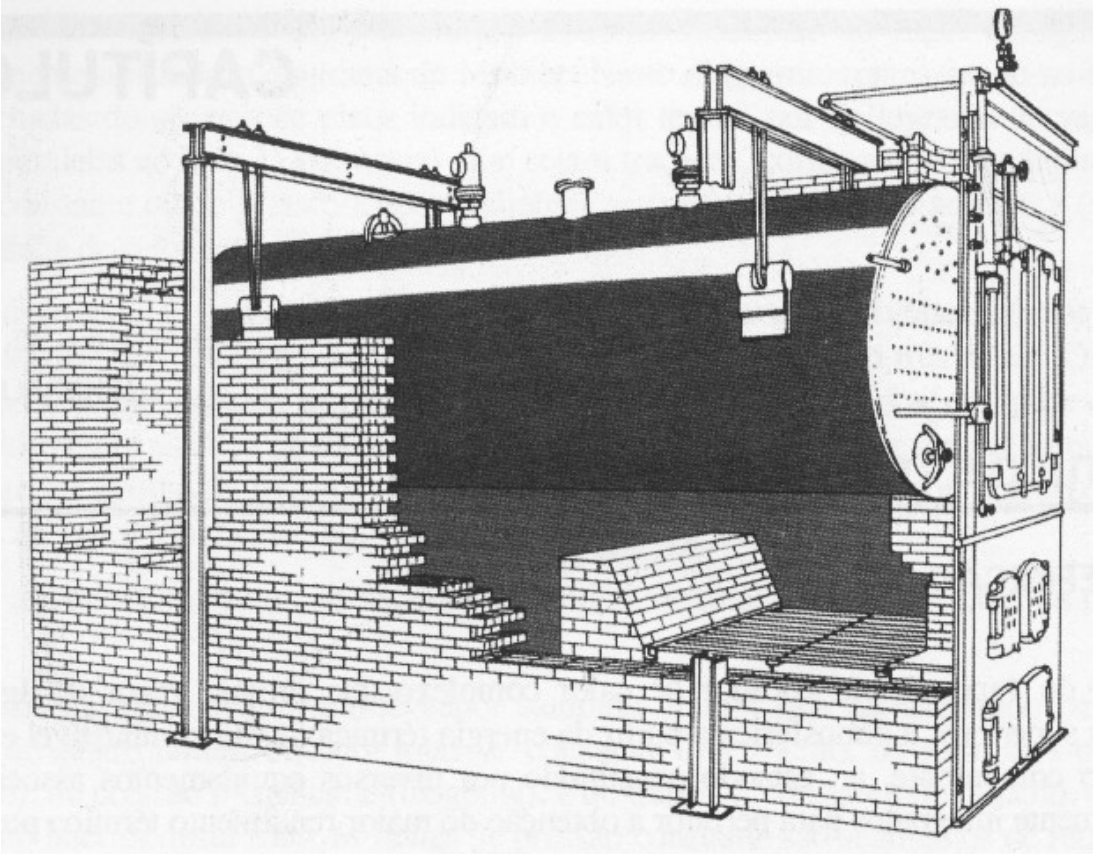


Figura 3.1 - Caldeira primitiva em estrutura fechada de tijolos

Fonte: TORREIRA (1995)

Por último, os condutos de fumaça e a chaminé; dispostos na parte final do percurso que seguem os gases no interior da caldeira, têm como objetivo conduzir para o exterior os produtos da combustão que transmitiram parte do seu calor para a água e vapor, através da superfície de aquecimento. A chaminé tem também a função de aumentar a velocidade de descarga dos gases, produzindo uma tiragem natural que promove a entrada de ar à fornalha, acelerando assim, a combustão.

A idéia de direcionar os gases quentes provenientes da combustão, através de tubos dispostos no interior da caldeira, surgiu o projeto da caldeira

denominada flamotubular, que não somente aumenta a superfície de aquecimento exposta à água, como também produz uma distribuição mais uniforme do vapor em geração, através da massa de água.

3.1.1. Elementos que Caracterizam uma Caldeira

Segundo TORREIRA (1995), de acordo com a ABNT – NR13, toda caldeira deve apresentar em sua superfície externa e bem visível, uma placa identificadora com as seguintes informações:

- nome do fabricante, tipo e modelo do fabricante, número da caldeira, ano de fabricação e pressão máxima de trabalho admissível – PMTP ($kgf.cm^{-2}$).
- Pressão de teste hidrostático ($kgf.cm^{-2}$): é a pressão de ensaio hidrostático a que se deve ser submetido o gerador.
- Capacidade de produção de vapor (kg/h ou t/h): define a quantidade de vapor capaz de ser gerado por uma caldeira em condições de pressão de regime, temperatura e eficiência garantidos pelo fabricante.
- Área de superfície de aquecimento (m^2): superfície de aquecimento ou calefação é a que compreende as partes metálicas que se encontram em contato, por uma das faces com a água e vapor da caldeira e pela oposta com os gases quentes resultantes da combustão. A medição desta superfície efetua-se pelo lado exposto às chamas e gases.

3.1.2. Classificação das Caldeiras

As caldeiras podem ser classificadas de acordo com classes de pressão, grau de automatização, tipos de energia empregada, tipo de troca térmica.

Segundo o site MTE do Ministério do Trabalho e Emprego (2003), as classes de pressão das caldeiras são classificadas em:

- Classe A: Caldeiras que apresentam pressão de operação superior a 1960 kpa (19,98 $kgf.cm^{-2}$).

- Classe B: Caldeiras cuja pressão de operação é maior que 588 kpa (5,99 kgf.cm^{-2}) e menor ou igual a 1960 kpa (19,98 kgf.cm^{-2})

- Classe C: Caldeiras com pressão de operação igual ou inferior a 588 kpa (5,99 kgf.cm^{-2}) e volume interno igual ou inferior a 100 litros. A figura 3.2, mostra as Classes de Pressão. A caldeira utilizada neste estudo classifica-se como sendo de classe B.

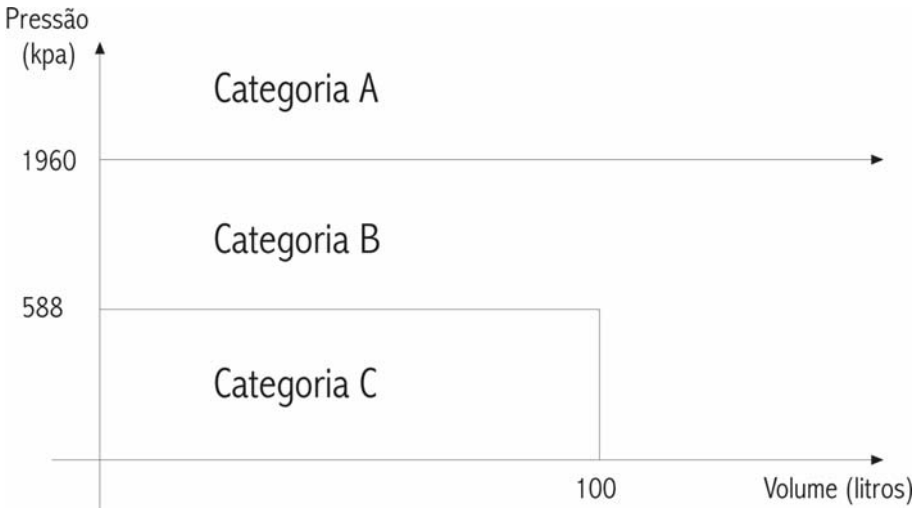


Figura 3.2 - Classificação das caldeiras quanto à classe de pressão

Fonte: Ministério do Trabalho e Emprego (2003)

De acordo com o grau de automatização são classificadas em: manuais, semi-automáticas e automáticas.

Conforme o combustível empregado, elas podem ser do tipo: combustível sólido, combustível líquido, combustível gasoso e eletricidade.

A classificação de caldeiras mais usuais, quanto a troca térmica, divide-se em: flamotubulares, aquotubulares e elétricas.

3.1.3. Caldeiras Flamotubulares

De acordo com o TORREIRA (1995), as caldeiras Flamotubulares ou Fogotubulares, são aquelas em que os gases provenientes da combustão (gases quentes), circulam no interior dos tubos, ficando por fora a água, conforme a figura 3.3

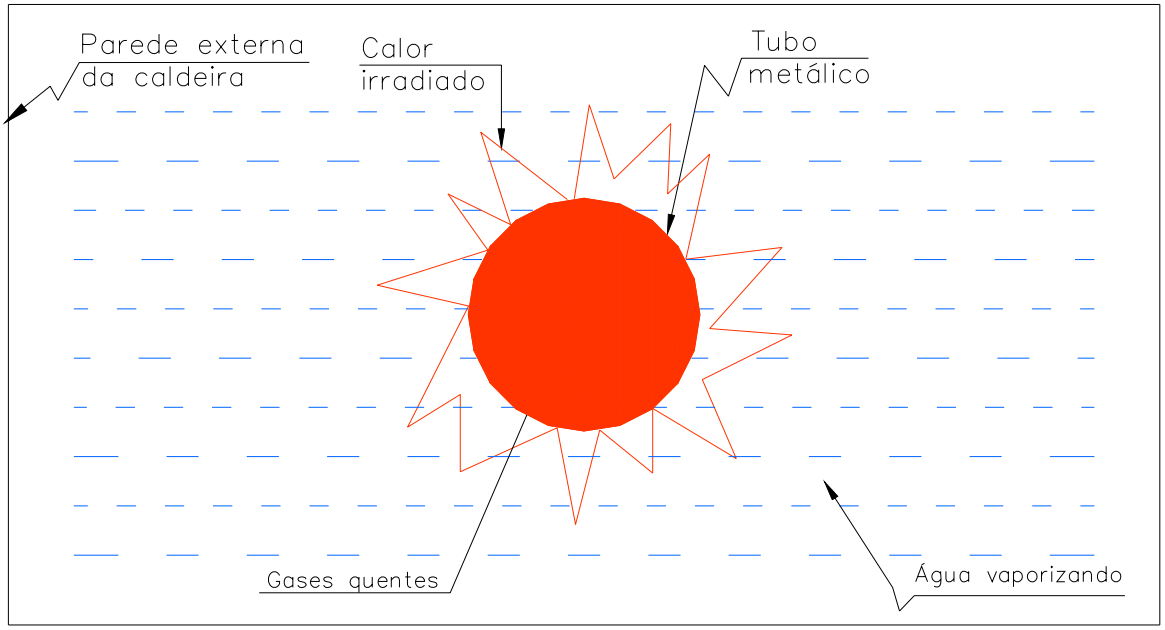


Figura 3.3 – Troca de calor numa caldeira Flamotubular

Fonte: SENAI (1995) apud SOUZA (2000).

Este tipo de caldeira é de construção mais simples e quanto à distribuição dos tubos podem ser divididos em verticais ou horizontais.

Nas caldeiras verticais os tubos são colocados verticalmente num corpo cilíndrico fechado nas extremidades por placas, chamadas espelho.

A fornalha interna fica no corpo cilíndrico logo abaixo do espelho inferior. Os gases de combustão sobem através dos tubos, aquecendo e vaporizando a água que se encontra externamente aos mesmos. As fornalhas externas são utilizadas principalmente, por combustíveis de baixo poder calorífico.

As caldeiras horizontais abrangem várias modalidades, desde as caldeiras Escocesas, Cornuália, Lancaster até as modernas unidades compactas.

A caldeira Escocesa vista nas figura 3.4, foi criada basicamente, para uso marítimo, servindo como modelo das caldeiras industriais mais difundidas no mundo. São destinadas também, além da lenha, a queima de óleo combustível ou gás.

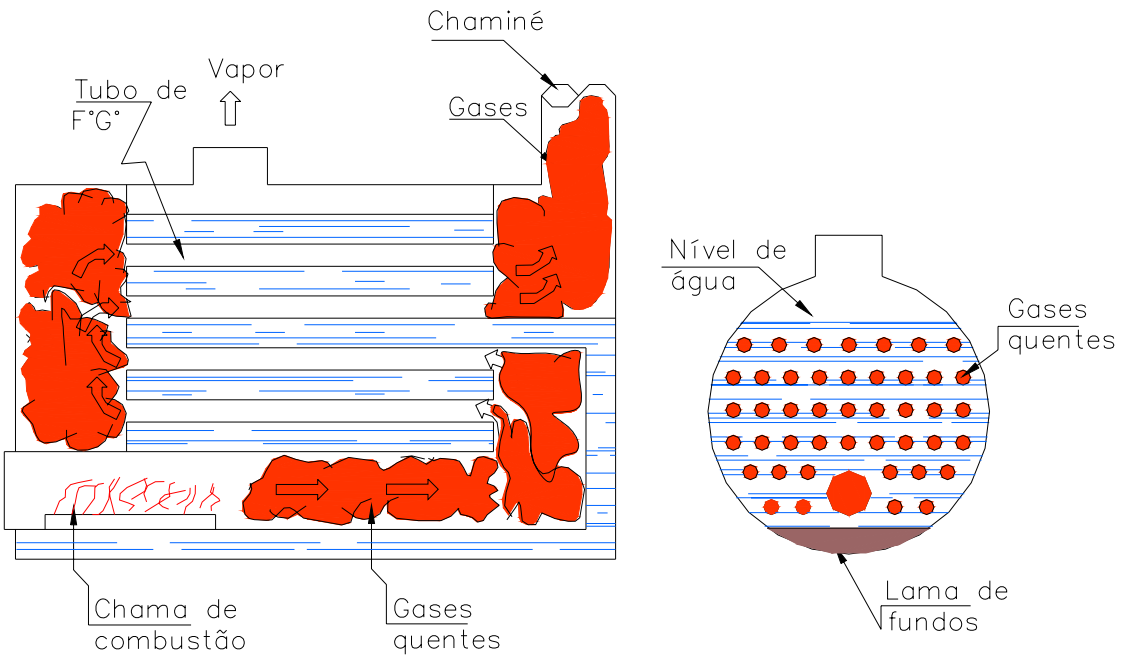


Figura 3.4 – Corte esquemático de uma caldeira Flamotubular horizontal (escocesa) com retorno de chama

Fonte: SOUZA (2000)

Em TORREIRA (1995), conforme o sentido da direção dos gases no interior das caldeiras podem ser classificadas em: caldeira de chama direta e de retorno de chama.

Caldeira de Chama Direta: Nas caldeiras de chama direta os gases percorrem um caminho direto, desde a fornalha, até os condutos de fumaça, para chegar até a chaminé. Em todas estas caldeiras, as fornalhas, as câmaras de combustão e os tubos, estão submersos na água, contida no interior do invólucro, isto é, encontram-se submetidos à pressão de vapor da caldeira.

Caldeira com Retorno de Chama: Neste caso, os gases de combustão circulam em um sentido através das fornalhas e câmaras de combustão, e no sentido oposto, pelo interior dos tubos, no sentido dos condutos de fumaça e chaminé conforme figura 3.4.

SENAI – DN (1995), descreveu as seguintes vantagens e desvantagens no uso de caldeiras flamotubulares:

Vantagens: custo de aquisição mais baixo, exigem pouca alvenaria e atendem bem ao aumento instantâneo de demanda de vapor.

Desvantagens: baixo rendimento térmico, partida lenta devido ao grande volume interno de água, limitação de pressão de operação (até 20 $kgf.cm^{-2}$), baixa taxa de vaporização, capacidade de produção limitada e apresentam dificuldades para instalação de economizador, superaquecedor e pré – aquecedor.

3.1.4. Caldeiras Aquotubulares

Baseado nos princípios da termodinâmica e na experiência com os tipos de caldeiras flamotubulares, os fabricantes resolveram inverter o processo, ou seja, trocaram os tubos de fogo por tubos de água, tendo assim aumentado em muito a superfície de aquecimento e surgindo a caldeira aquotubular (água dentro do tubo).

Na figura 3.5, nota-se que a água é vaporizada nos tubos que constituem a parede mais interna, subindo ao tambor de vapor, dando lugar a nova quantidade de água fria, que será vaporizada e assim sucessivamente.

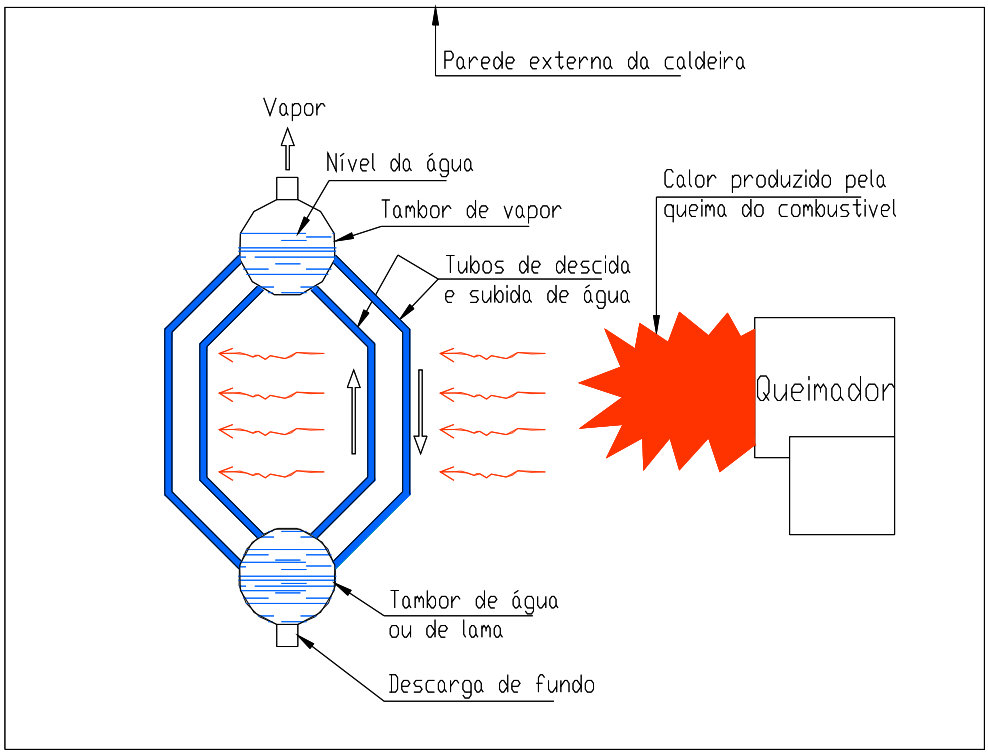


Figura 3.5 – Esquemático de uma caldeira aquotubular

Fonte: TORREIRA (1995)

Segundo o curso de segurança para operadores de caldeiras do SENAI – DN (1995), o princípio de funcionamento das caldeiras aquotubulares, baseia-se no fato de que, quando um líquido é aquecido, as primeiras partículas aquecidas ficam mais leves e sobem, enquanto que as frias, que são mais pesadas, descem; recebendo calor elas tornam a subir, formando assim, um movimento contínuo, ocorrendo o fenômeno denominado termo sifão, proveniente das correntes de convecção, até que a água entre em ebulição.

Vantagens das caldeiras aquotubulares: redução do tamanho, queda da temperatura de combustão, eliminação da necessidade de uso de refratários de alta qualidade, vaporização específica maior (28,30 kg de vapor por m^2 a 50 kg de vapor por m^2, para caldeiras de tiragem forçada), fácil manutenção e limpeza, fácil entrada em regime e fácil inspeção nos componentes.

3.1.5. Caldeiras Elétricas

Caldeira elétrica é um equipamento cujo papel principal é transformar energia elétrica em térmica. A produção de vapor em uma caldeira elétrica, baseia-se no seguinte fato: a corrente elétrica, ao atravessar qualquer condutor, encontra resistência a sua livre circulação e desprende calor (efeito Joule). A água pura é considerada um mau condutor de eletricidade. Portanto, deve-se adicionar determinados sais à mesma, para que se possa obter uma condutividade adequada. Alguns fabricantes recomendam a adição de soda cáustica ou fosfato trisódico na água de alimentação.

Vantagens das caldeiras elétricas: não necessita de área para estocagem de combustível, ausência total de poluição (não há emissão de gases), baixo nível de ruído, modulação de produção de vapor de forma rápida e precisa, alto rendimento térmico (aproximadamente 98%), melhora o fator de potência e fator de carga, área reduzida para instalação da caldeira.

Desvantagens: necessita de aterramento de forma rigorosa e requer tratamento de água de boa qualidade.

3.1.6. Utilização do Vapor

O vapor produzido numa caldeira pode ser usado de diversas formas, dependendo do tipo de indústria e da região. De uma forma geral pode-se destinar o vapor para:

Prestação de Serviços: hospitais, indústrias de refeição, hotéis e similares, utilizam o vapor em lavanderias, cozinha, conforto térmico e assepsia.

Aquecimento de Linhas de Reservatórios de Óleo Combustível: no caso de trabalharmos com “óleo combustível pesado”, torna-se necessário o aquecimento das tubulações e reservatórios, sob pena do mesmo não fluir livremente e também não proporcionar uma boa combustão.

Geração de Energia Elétrica: Pode-se obter energia elétrica, através das usinas termelétricas, as quais são compostas basicamente, de um equipamento de geração de vapor superaquecido, uma turbina, um gerador elétrico e um condensador.

Torreira (1995), a seguir lista as diversas topologias industriais e respectivas fases do processamento, que utilizam o vapor:

Indústrias de bebidas: utilização do vapor para lavadoras de garrafas, tanques de xarope e pasteurização.

Indústrias madeireiras: cozimento de toras, secagem de tábuas ou lâminas em estufas, em prensas para compensados.

Indústria de papel e celulose: cozimento de madeira nos biodigestores, secagem através de cilindros rotativos, secagem de cola na fabricação de papelão corrugado.

Curtumes: aquecimento de tanque d’água, secagem de couros, estufas e prensas.

Indústrias de laticínios: pasteurização, esterilização de recipientes, fabricação de creme de leite, aquecimento de tanques de água, produção de queijos e iogurte.

Frigoríficos: estufas para cozimento, digestores e prensa para extração de gordura.

Indústria de doces: aquecimento do tanque de glicose, cozimento da massa em panela sob pressão e estufas.

Indústria de vulcanização e recauchutagem: estufas para secagem dos pneus, vulcanização e prensas.

Indústrias químicas: autoclaves, tanques de armazenamento, reatores, vasos de pressão e trocadores de calor.

Indústria têxtil: tingimento e alvejamento de tecidos e secagem em estufas.

Indústria de petróleo: refervedores, trocadores de calor, torres de fracionamento e destilação, fornos, vasos de pressão, reatores e turbinas.

Indústria metalúrgica: banhos químicos, secagem e pintura.

3.2.POLUIÇÃO ATMOSFÉRICA

3.2.1. Características do Ar Atmosférico

MOTA (1997), define o ar como a camada da atmosfera que fica em contato com a superfície da Terra. Esta camada é denominada troposfera e tem 12 km de espessura.

O ar é um recurso natural indispensável ao homem, aos animais e a vegetação, sendo portanto, essencial à manutenção da vida na Terra.

Segundo MOTA (1997), o ar atmosférico é constituído por uma mistura de gases, principalmente nitrogênio (78,10%), oxigênio (20,92%), argônio (0,93%) e dióxido de carbono (0,03%). Além desses, encontram-se o hidrogênio, o metano, o óxido nitroso e gases nobres, como o neônio, o hélio e o criptônio. O ar contém ainda vapor d’água, ozônio, dióxido de enxofre, dióxido de nitrogênio, amônia, monóxido de carbono, partículas sólidas em suspensão e outros componentes, em concentrações variáveis, em função das atividades desenvolvidas pelo homem.

A utilização, cada vez mais intensa, desse recurso, tem resultado muitas vezes em alterações na sua composição, com impactos sobre o homem, animais, vegetais e materiais.

Diferentemente da água, o homem não pode, com raríssimas exceções, tratar o ar, para obtê-lo com características adequadas a sua utilização.

3.2.2. Principais Poluentes Atmosféricos

Conforme resolução CONAMA nº 3 de 28/06/90, poluente atmosférico é qualquer forma de matéria ou energia com intensidade, quantidade, concentração, tempo ou características em desacordo com os níveis estabelecidos, e que tornem ou possam tornar o ar: impuro, nocivo ou ofensivo a saúde, inconveniente ao bem estar público; danosos aos materiais, a fauna e flora e prejudicial a segurança, ao uso e gozo da propriedade e às atividades normais da comunidade.

VIGÂNNICO *et al.* (1999), enumerou os principais poluentes atmosféricos e seus efeitos sobre a saúde humana, flora, fauna, ar, água e solo:

- Monóxido de carbono (CO) – principal fonte de emissão é a combustão incompleta de carvão e petróleo, sendo um dos mais perigosos tóxicos respiratórios;

- Gás carbônico (CO_2) – na natureza a fotossíntese e respiração mantêm as proporções de oxigênio e gás carbônico constante, porém a atividade humana altera este equilíbrio, produzido por combustões diversas, que acarreta grande contribuinte do efeito estufa;

- Dióxido de Enxofre (SO_2) – formado na combustão do petróleo, do carvão e de combustíveis fósseis, sendo um dos principais formadores das chuvas ácidas;

- Trióxido de Enxofre (SO_3) **–** também gerado durante a queima de carvão e produtos de petróleo, fundição de minérios de enxofre, na indústria de papel e polpa de celulose e em outras operações industriais. O trióxido de enxofre se dissolve prontamente em água para formar o ácido sulfúrico, que é um ácido capaz de atacar tecidos respiratórios. Também é um dos responsáveis pelas chuvas ácidas;

- Material Particulado (MP) – define-se Material Particulado como uma grande variedade de sólidos, gotas de líquidos que são aspersos no ar, através do processo de combustão. O material particulado é a forma de poluição mais comumente perceptível, pela interferência na visibilidade. Os veículos com motor a diesel emitem fuligem e materiais particulados na atmosfera. As partículas mais prejudiciais à saúde são as de diâmetro menor que 5 μm, que chegam aos alvéolos pulmonares, estas são chamadas de inaláveis;

- Compostos Orgânicos Voláteis (VOC's – Volatile Organic Compound) – os HCs são de grande diversidade e sua tendência ao estado sólido aumenta com o número de carbono e ao estado gasoso diminui com a diminuição do número de carbonos. Os mais importantes HC são os gases como o metano, tolueno, benzeno e etileno;

- Ozônio (O_3) – é um subproduto de reações entre os óxidos de nitrogênio e hidrocarbonetos. Apenas ocorre a reação fotoquímica na atmosfera, quando a ação da luz solar é intensa. Nas camadas inferiores da atmosfera, o ozônio exerce função nociva sobre os vegetais e o próprio homem, em concentrações relativamente baixas;

- Hidrocarbonetos (HC) – os hidrocarbonetos, que são emitidos pelos veículos e por combustão incompleta, produzem uma série de substâncias químicas geradas na atmosfera terrestre em presença de radiação solar. Estas substâncias chamadas oxidantes fotoquímicas, são o ozônio (O_3) e o PAN (peroxiacetil nitrato). A mistura de (O_3), PAN e outros contaminantes do ar, formam o smog fotoquímico. Tais oxidantes, são removidos da atmosfera por reações, com a vegetação e o solo;

Na tabela 3.1, são apresentados os principais poluentes atmosféricos, suas origens e conseqüências.

3.2.3. Classificação dos Poluentes Atmosféricos

VIGÂNNICO *et al.* (1999), classificou os poluentes atmosféricos de acordo com: origem, estado físico e composição química.

- Quanto à origem os poluentes podem ser primários ou secundários.

Poluente primário: emitido diretamente da fonte para a atmosfera.

Poluente secundário: são os formados na atmosfera, através das reações químicas, através dos poluentes primários entre si e ou com os constituintes normais da atmosfera, com ou sem reação fotoquímica.

- Quanto ao estado físico, os poluentes podem apresentar na forma de gases, vapores, poluentes sólidos ou líquidos.

Tabela 3.1– Principais poluentes atmosféricos, origens e conseqüências.

POLUENTE	ORIGENS	CONSEQÜÊNCIAS
Monóxido de Carbono	- Veículos automotores - Combustão incompleta do carvão e petróleo	- Afeta a capacidade de oxigenação da hemoglobina → asfixia
Óxidos de Enxofre	- Queima de combustíveis fósseis - Queima de carvão - Processos industriais	- Danos ao aparelho respiratório - Corrosão do ferro, aço, mármore - Danos às plantas (amarelecimento e morte) - Chuvas ácidas
Óxidos de Nitrogênio	- Veículos automotores - Processos industriais - Queima de combustíveis fósseis	- Tóxicos ao homem; irritação da mucosa; carcinogênicos - Danos às plantas - Reagem com os hidrocarbonetos produzindo oxidantes fotoquímicos - Chuvas ácidas
Hidrocarbonetos	- Veículos automotores - Processos industriais - Queima de combustíveis fósseis	- Carcinogênicos - Reagem com os óxidos de nitrogênio produzindo oxidantes fotoquímicos
Oxidantes Fotoquímicos, principalmente o Ozônio	- Reação dos óxidos de nitrogênio com os hidrocarbonetos, na presença de luz solar	- Irritação severa dos olhos e pulmões - Nocivos às plantas - Deterioração da borracha, de produtos sintéticos, etc.
Material Particulado	- Veículos automotores - Processos industriais	- Redução da visibilidade - Sujeira de roupas, prédios, monumentos (paisagem) - Carreiam poluentes tóxicos para os pulmões
Dióxido de Carbono	- Queima do petróleo e do carvão - Queima da biomassa - Desmatamento	- Efeito estufa
Gás Sulfídrico	- Decomposição anaeróbia - Indústrias químicas	- Odor desagradável
Clorofluorcarbonos	- Refrigeração - “Sprays” - Fabricação de espumas plásticas - Solventes usados na limpeza de circuitos eletrônicos	- Destruição da camada de ozônio - Câncer de pele - Catarata - Danos à vegetação

Fonte: MOTA (1997)

São gases e vapores CO, CO_2, SO_2, NO, NO_2, H_2S, O_3, peroxiacetilnitrato (PAN), peróxido de nitrogênio (H_2O_3) e aldeidos.

Como partículas sólidas e líquidas temos: poeiras, fumos, névoas e fumaças.

- Quanto à composição química os poluentes apresentam na forma orgânica ou inorgânica.

São poluentes orgânicos: hidrocarbonetos – HC

Como poluentes inorgânicos: H_2, HF, CO e SO_2

FREEDMAN (1995), mostra na tabela 3.2, o tempo de permanência na atmosfera e concentrações típicas de poluentes do ar.

Tabela 3.2 – Tempo de permanência e concentrações de poluentes.

Poluente	Tempo de permanência	Concentração típica (ppm)	
		Ar limpo	Ar poluído
SO_2	4 dias	0,0002	0,2
H_2S	< 1 dia	0,0002	-
CO	< 3 anos	0,1	40 - 70
NO/NO_2	5 dias	<0,002	0,2
Hidrocarbonetos	-	<0,001	-
CO_2	2 a 4 anos	340	400
O_3	14 a 21 dias	0,03	0,5

Fonte: FREEDMAN (1995) apud MOTA (1997)

3.2.4. Classificação das Fontes Poluidoras do Ar

MOTA (1997), classifica as fontes poluidoras do ar em fontes naturais e antropogênicas.

As principais fontes poluidoras naturais do ar são:

- Cinzas e gases de emissões vulcânicas: SO_2;
- Desnitrificação do nitrato por bactérias no solo e água: NO e NO_2;
- Decomposição microbiológica anaeróbica de matéria orgânica: H_2S e CH_4.

As principais fontes antropogênicas do ar são:

- Veículos e motores estacionários a gasolina, diesel, biomassa, gás natural e álcool: material particulado, monóxido de carbono (CO), dióxido de carbono (CO_2), dióxido de enxofre (SO_2) e óxidos de nitrogênio (NO_x), ácido clorídrico (HCl), ozônio (O_3) e hidrocarbonetos (HC);

- Processos industriais: material particulado, dióxido de enxofre (SO_2), óxidos de nitrogênio (NO e NO_2), gás sulfídrico (H_2S), hidrocarboneto (HC), ácido clorídrico (HCl) e ozônio;

- Queima de dejetos e lixo: material particulado, dióxido de enxofre (SO_2), óxidos de nitrogênio (NO_x), e ácido clorídrico (HCl);

- Decomposição anaeróbia de matéria orgânica, presente no lixo, esgoto em dejetos animais: gás sulfídrico (H_2S) e metano (CH_4);

- Refrigeração, “sprays” e fabricação de espumas plásticas e sabonetes: clorofluorcarbono (CFC).

O site GLOBO (2003), informa que os EUA com 290 milhões de habitantes (5% da população mundial), produz 25% dos poluentes antropogênicos da terra.

3.2.5. Características dos Poluentes Gasosos

Segundo LORA (2000), as características dos poluentes gasosos apresentam na forma de compostos nitrogenados e material particulado.

- Compostos Nitrogenados.

Na atmosfera os compostos nitrogenados apresentam-se nas seguintes formas: N_2O, NO, NO_2, NH_3, sais de NO_3^- NO_2^- e NH_4^+. Outros óxidos de nitrogênio tais como: N_2O_3, N_2O_4, NO_3 e N_2O_5, encontram-se em concentrações muito baixas.

O NO_2, pode produzir uma névoa de ar amarela ou laranja. O N_2O, é um gás incolor, emitido principalmente, pela queima de combustíveis sólidos.

Os óxidos de nitrogênio NO_x, são produzidos por fontes naturais como os relâmpagos, atividade mineradora no solo, a oxidação da amônia e processos fotolíticos ou biológicos nos oceanos. A isto acrescentam-se fontes antropogênicas como a queima de combustíveis fósseis e de biomassa. Ao mesmo tempo, a fim de manter um balanço global, existem "sumidouros" de NO_x, como as precipitações e a deposição seca.

Considera-se material particulado qualquer substância, à exceção da água pura, que existe como líquido ou sólido na atmosfera e tem dimensões microscópicas ou submicroscópicas, porém maiores que as dimensões moleculares. Os particulados presentes na atmosfera classificam-se em: finos, com diâmetro $d_p < 2,5\ \mu m$, e grossos, com diâmetro $d_p > 2,5\ \mu m$.

O tempo de residência dos particulados na atmosfera inferior é de alguns dias a uma semana. O mecanismo de remoção dos mesmos são: sedimentação e impacto em superfícies e deposição úmida. A matéria orgânica particulada é constituída por compostos perigosos à saúde, especialmente o PAH (hidrocarbonetos aromáticos policíclicos), cujo efeito cancerígeno em animais é comprovado.

3.2.6. Níveis de Concentrações dos Poluentes Atmosféricos

Na tabela 3.3, são apresentadas as concentrações médias de poluentes no ar limpo e contaminado.

Tabela 3.3 – Concentração média de poluentes no ar limpo e contaminado

Poluente	Concentração, ppb	
	Ar limpo	Ar contaminado
SO_2	1-10	20-200
CO	120	1.000-10.000
NO	0,01-0,05	50-750
NO_2	0,1-0,5	50-250
O_3	20-80	100-500

Fonte: LORA (2000)

É interessante destacar a alta concentração de poluentes no interior de moradias nos países em desenvolvimento, produto do uso da lenha para cocção de alimentos em fogões pouco eficientes.

De acordo com a UNEP (1991), a concentração em diferentes ambientes adotados são:

- Óxidos de Nitrogênio (NOx)

  Interiores (casas rurais nos países em desenvolvimento): 100 a 400 μg/m3;

  Interiores (casas nos países desenvolvidos): 10 a 100 μg/m3;

  Locais públicos: 20 a 150 μg/m3.

- Monóxido de Carbono (CO)

  Interiores (casas rurais nos países em desenvolvimento): 10 a 50 mg/m3;

  Interiores (casas nos países desenvolvidos): 5 mg/m3;

  Áreas de tráfego pesado: 10 mg/m3;

  Garagens subterrâneas e túneis: 100 mg/m3;

  Locais públicos, onde é permitido fumar: 3 a 30 mg/m3.

- Material Particulado em Suspensão (MPS)

  Interiores (casas rurais nos países em desenvolvimento): 300 a 14000 mg/m3;

  Interiores (casas nos países desenvolvidos): 30 a 100 mg/m3;

  Locais públicos: 50 a 70 mg/m3.

3.2.7. Conversão de mg/m^3 para ppm

De acordo com CALINESW (2003), a conversão de unidades de concentração de mg/m^3 para ppm é feita através da equação (3.1).

$$C(ppm) = 22{,}4 \frac{m^3}{kmol} . \frac{T(K)}{273K} . \frac{1}{PMS} \frac{kmol}{kg} . e^{\frac{0{,}0341.h(m)}{T(K)}} \qquad (3.1)$$

Onde:

h = altitude local (m)

T = Temperatura ambiente (K)

PMS = Peso molecular da substância (kg).

Aplicando a equação (3.1) em Campo Grande – MS, onde a temperatura média ambiente durante as medições foi de 32ºC, e altitude de 540m, o valor de 1mg/m^3 equivale a:

CO = 0,956 ppm

CO_2 = 0,609 ppm

NO = 0,893 ppm

NO_2 = 0,582 ppm

NO_x = 1,475 ppm

SO_2 = 0,418 ppm

O_3 = 0,558 ppm

Para o NO_x a relação entre mg/Nm^3 e ppm é:

NO_x (mg/Nm^3) = 1,234 ppm.

3.2.8. Padrões de Qualidade do Ar

Segundo DERISIO (1992), “Um padrão de qualidade do ar define legalmente um limite máximo para a concentração de um componente atmosférico, que garanta a proteção da saúde e do bem estar das pessoas”. Nos Estados Unidos, a EPA-NAAQS (1996) desenvolveu a tabela 3.4, que apresenta os padrões de concentrações máximos de poluentes no ar ambiente.

Os limites máximos permitidos de poluentes nas emissões gasosas de usinas termelétricas, para diversos tipos de combustíveis, segundo o Banco Mundial, são mostrados na tabela 3.5.

No Brasil, o Conselho Nacional de Meio Ambiente – CONAMA, pela resolução nº 3, de 28/06/90, estabeleceu na tabela 3.6, os padrões de qualidade do ar.

Os dados mencionados incluem as normas relativas a padrões primários e secundários. Os padrões primários podem ser entendidos como níveis máximos toleráveis atmosféricos que se ultrapassados, podem afetar a saúde da população.

De acordo com DERISIO (1992), os padrões de qualidade do ar para o Estado de São Paulo (Decreto Estadual nº 8468, de 08/09/76), mostrado na tabela 3.7.

Tabela 3.4 – Padrões de concentrações máximas de poluentes no ar ambiente conforme EPA-NAAQS

Poluente	Concentração máxima permissível
SO_2	Média em 24 horas 0,14 ppm (365 μg/m³) Média anual 0,03 ppm (80 μg/m³)
Ozônio	Média em 1 hora 0,12 ppm Média em 8 horas 0,08 ppm
NO_2	Média anual 0,53 ppm (100 μg/m³)
CO	Média em 1 hora 35 ppm (40 μg/m³) Média em 8 horas 9 ppm (10 μg/m³)
PTS - Particulados totais em suspensão	Média em 24 horas 260 μg/m³ Média anual 75 μg/m³
PM_{10} - Partículas com dimensões menores que 10 μm	Média em 24 horas 150 μg/m³ Média anual 50 μg/m³
$PM_{2,5}$ - Partículas com dimensões menores que 2,5 μm	Média em 24 horas 65 μg/m³ Média anual 15 μg/m³
Chumbo	Média em 4 meses 1,5 μg/m³

Fonte: EPA – NAAQS (1996) apud LORA (2000).

Tabela 3.5 – Limites máximos de poluentes atmosféricos nas emissões gasosas de usinas termelétricas.

Poluente (*)	Combustível			
	Carvão (mg/Nm^3)	Óleo Diesel (mg/Nm^3)	Óleo (mg/Nm^3)	Gás (*) (mg/Nm^3)
Material Particulado	50	50	50	50
NO_x	750	165	300	125
SO_x	2000	2000	2000	2000

(*) Limites estabelecidos para usinas acionadas por turbinas convencionais.

Fonte: WORLD BANK (1997/98)

Tabela 3.6 – Padrões de qualidade do ar segundo resolução CONAMA nº 3 de 28/06/90

Poluentes	Tempo de amostragem	Padrão primário, (μg/m³)	Padrão secundário, (μg/m³)	Método de medição
Partículas totais em suspensão	24 horas (1) MGA (2)	240 80	150 60	Amostrador de grandes volumes
Dióxido de enxofre	24 horas (1) MAA (3)	365 80	100 40	Parosanilina
Monóxido de carbono	1 hora (1) 8 horas (1)	40 (35 ppm) 10 (9 ppm)	40 (35 ppm) 10 (9 ppm)	Infravermelho não disperso
Ozônio	1 hora (1)	160	160	Quimiluminescência
Fumaça	24 horas (1) MAA (3)	150 60	100 40	Refletância
Partículas inaláveis	24 horas (1) MAA (3)	150 50	150 50	Separação inercial/filtração
Dióxido de nitrogênio	1 hora (1) MAA (3)	320 100	190 100	Quimiluminescência

(1) Não deve ser excedido mais que uma vez ao ano.

(2) MGA - Média geométrica anual.

(3) MAA - Média aritmética anual

Fonte: CONAMA Res. 3 (28/06/90)

Tabela 3.7 – Padrões de qualidade do ar para o Estado de São Paulo, segundo o Decreto Estadual nº 8468 de 08/09/76

Poluente	Tempo de amostragem	Padrão (μg/m³)	Método de medição
Partículas totais em suspensão	24 horas MGA (2)	240 80	Amostrados de grandes volumes
Dióxido de enxofre	24 horas (1) MAA (3)	365 80	Parosanilina
Monóxido de carbono	1 hora (1) 8 horas (1)	40 10	Infravermelho não dispersivo
Oxidantes fotoquímicos (como ozônio)	1 hora (1)	160	Quimiluminescência

(1) Não deve ser excedido mais que uma vez ao ano.
(2) Média geométrica anual.
(3) Média aritmética anual

Fonte: DERISIO (1992)

Segundo a CETESB (1998), no Relatório de Qualidade do Ar no Estado de São Paulo, observado no tabela 3.8, normatiza a estrutura de qualidade do ar, quanto a concentração de poluentes atmosférico ambiental.

Tabela 3.8 – Qualidade do Ar adotado pela CETESB no Estado de São Paulo

	Dióxido de Enxofre (SO_2)	
Faixa de Concentração ($\mu g/m^3$)	**Qualidade do ar**	**Padrão (CONAMA)**
0-80 81-365	Boa Regular	Atende ao padrão
366-800 801-1600 1601-2100 >2101	Inadequada Má Péssima Crítica	Não atende ao padrão
Faixa de Concentração ($\mu g/m^3$)	**Partículas Inaláveis (MP_{10})**	
0-50 51-150	Boa Regular	Atende ao padrão
151-250 251-420 421-500 >501	Inadequada Má Péssima Crítica	Não atende ao padrão
Faixa de Concentração ($\mu g/m^3$)	**Dióxido de Nitrogênio (NO_2)**	
0-100 101-320	Boa Regular	Atende ao padrão
321-1130 1131-2260 2261-3000 >3001	Inadequada Má Péssima Crítica	Não atende ao padrão
Faixa de Concentração (ppm)	**Monóxido de Carbono (CO)**	
0-4,5 4,6-9,0	Boa Regular	Atende ao padrão
9,1-15,0 15,1-30,0 30,1-40,0 >40,1	Inadequada Má Péssima Crítica	Não atende ao padrão
Faixa de Concentração ($\mu g/m^3$)	**Ozônio (O_3)**	
0-80 81-160	Boa Regular	Atende ao padrão
161-200 201-800 801-1000 >1001	Inadequada Má Péssima Crítica	Não atende ao padrão

Fonte: CETESB (1998)

3.3.EFEITOS DA POLUIÇÃO ATMOSFÉRICA

O problema da poluição do ar é intenso nas grandes cidades, especialmente naquelas localizadas nos países em desenvolvimento. Segundo a

Organização Mundial da Saúde – OMS, dados obtidos no Sistema Global de Monitoramento Ambiental – GEMS, 1,6 bilhões de pessoas correm riscos de saúde em conseqüência da poluição do ar.

Segundo LORA (2000), a geração de energia e a metalurgia constituem as atividades econômicas que contribuem com maior quantidade de poluentes gasosos à atmosfera.

Principais efeitos da poluição do ar: Danos à saúde de seres humanos e animais, danos à vegetação, danos aos materiais, alterações do clima, visibilidade e radiação solar.

VIGÂNNICO *et al.* (1999) compilou resumidamente os principais efeitos da poluição atmosférica:

Efeitos na saúde humana: apresentam na forma de irritantes pulmonares e asfixiantes.

Irritantes pulmonares: atacam pulmões e trato respiratório (O_3, SO_2, Cl_2, NO_x).

Asfixiantes: causam asfixia, quando em grande quantidade (CO, H_2S).

Efeitos na vegetação: Alteram a fotossíntese e destroem as folhas (particulados e SO_2).

Efeitos nas edificações: Corroem metais, atacam mármores e paredes (SO_2, Cl_2, NO_x).

3.3.1. Danos a Saúde Humana

MAIA (1999), informa que o consumo de ar por uma pessoa adulta pode variar entre 6 l/min em repouso e 90 l/min, se esta mesma pessoa estiver submetida a um grande esforço físico.

A tabela 3.9 apresenta o consumo de ar pelo homem, em algumas situações.

Junto com o ar entram no organismo os particulados e outros poluentes gasosos, os quais podem afetar os pulmões e outros órgãos do sistema respiratório. Os efeitos ambientais dos poluentes dependem: do tipo e quantidade de poluentes, da duração da exposição, do estado de saúde, idade, e nível de atividade da pessoa exposta. Alguns poluentes provocam: dor de cabeça, cansaço, náusea e irritação nos olhos, nariz e garganta. Os poluentes podem fazer com que o sistema respiratório fique mais sensível à asma. A taxa de mortalidade aumentou em 40 à 60%, nos últimos 10 anos, em países como Austrália, Canadá, França, Grã-Bretanha e Estados Unidos.

Tabela 3.9 – Consumo de ar pelo homem de acordo com a atividade física

ESTADO	TRABALHO	VOLUME AR RESP l/min	CONSUMO OXIGÊNIO l/min
Descansando	Deitado	6	0,25
	Sentado	7	0,30
	Em pé	9	0,40
Trabalho leve	Andando 3,2 Km/h	16	0,70
	Nadando devagar 0,9 Km/h	18	0,80
Trabalho médio	Andando a 6,5 Km/h	27	1,2
	Nadando a 1,6 Km/h	30	1,4
Trabalho pesado	Nadando a 1,85 Km/h	40	1,8
	Pedalando a 21 Km/h	45	1,85
	Correndo a 13 Km/h	50	2,0
Trabalho pesadíssimo	Nadando a 2,2 Km/h	60	2,5
	Correndo a 15 Km/h	65	2,6
	Subindo 100 degraus p/ min.	80	3,2
	Correndo morro acima	95	4,0

Fonte: MAIA (1999)

3.3.2. Efeitos dos Poluentes Gasosos

Os efeitos sobre a saúde humana, devido a presença de monóxido de carbono (CO) e óxidos de nitrogênio (NO_x), segundo LORA (2000) são:

O monóxido de carbono (CO) é um poluente altamente tóxico, pois afeta a capacidade do sangue de transportar oxigênio. Este composto reage com a hemoglobina do sangue, obtendo-se como resultado uma substância denominada carboxihemoglobina (COHb). A afinidade da hemoglobina pelo CO, é 210 vezes maior que pelo oxigênio. Cerca de 5% de carboxihemoglobina no sangue provoca alterações nervosas e de comportamento, assim como alterações no funcionamento

do miocárdio. Na figura 3.6, nota-se o efeito do CO, sobre a saúde humana em função da percentagem de carboxihemoglobina formada e o tempo de exposição do gás.

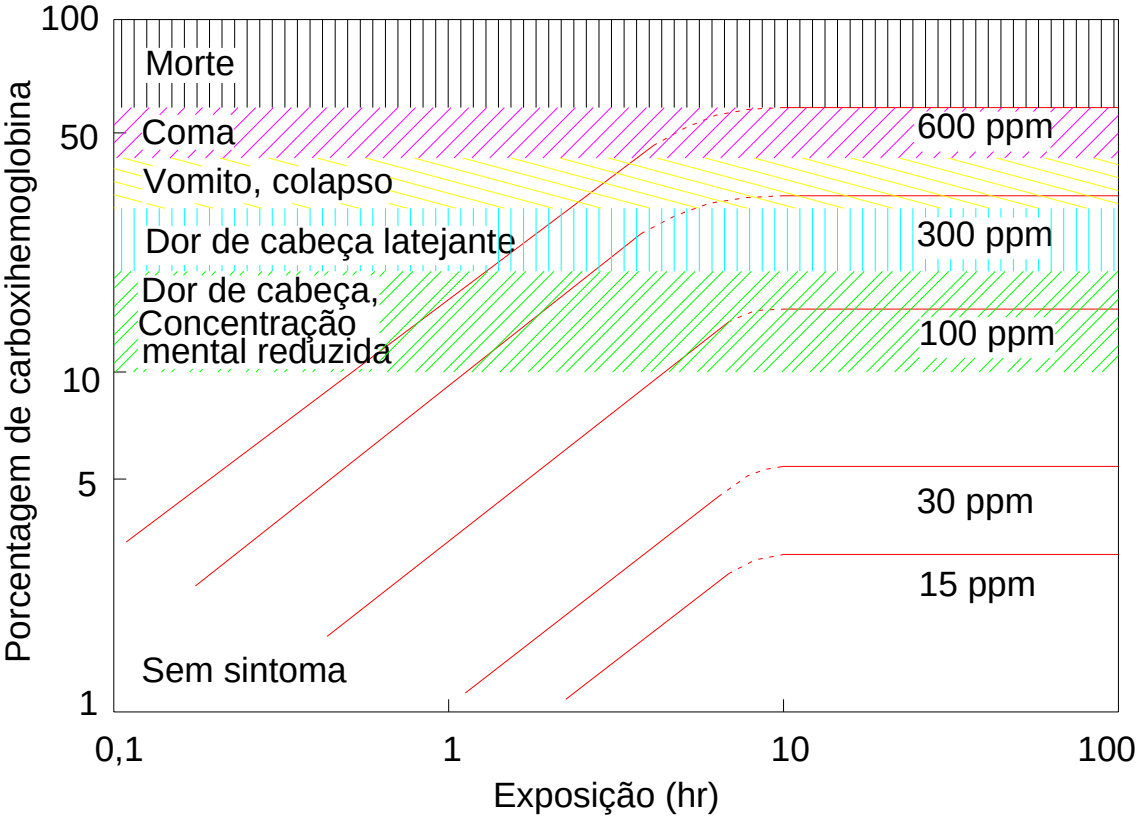


Figura 3.6 – Efeito do CO sobre a saúde humana

Fonte: SEINFELD (1986) apud LORA (2000)

Os óxidos de nitrogênio (NO_x) aumentam a suscetibilidade às infecções bacterianas nos pulmões. A exposição por longo tempo em concentrações de 1ppm, provoca irritação dos alvéolos pulmonares com sintomas semelhantes ao enfisema pulmonar. Os óxidos de nitrogênio (NO_x), estão envolvidos no surgimento de diversas condições patológicas, como impotência masculina, diabetes, supressão da imunidade, hipertensão, câncer, processos alérgicos e inflamatórios e, problemas cardíacos.

3.3.3. Danos à Vegetação

Os poluentes que causam danos à vegetação, são denominados fitotóxicos. Entre eles, os mais severos são: SO_2, peroxiacetil nitrato (PAN), eteno e

ozônio. Outros menos severos são: cloro, ácido clorídrico, amônia e mercúrio. Os poluentes penetram nas plantas através da respiração normal, provocando a destruição da clorofila e a interrupção da fotossíntese. Os sintomas dos danos causados pelos poluentes, geralmente, manifestam-se na superfície das folhas.

MC LEAN (1975), mostra na figura 3.7, o efeito dos dióxidos de nitrogênio (NO_2), sobre as plantas.

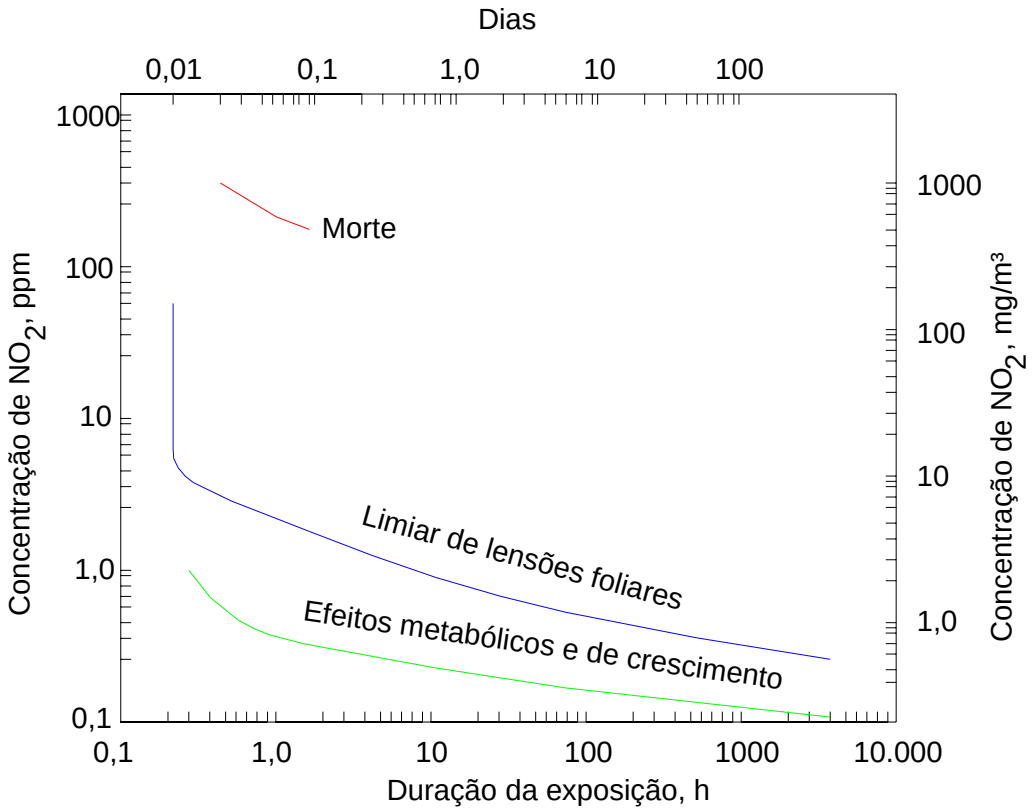


Figura 3.7 – Efeito dos óxidos de nitrogênio (NO_2) sobre as plantas

Fonte: MCLEAN (1975) apud LORA (2000)

3.3.4. Danos aos Materiais

Segundo LORA (2000), o ozônio (O_3) e o peroxiacetil nitrato (PAN), atacam a borracha sintética, os tecidos e as tintas. Os pneus são construídos de borracha com aditivos antioxidantes para protegê-los da ação dos poluentes. As estátuas mais famosas do Parthernon – as Cariátidas – foram levadas a um museu com condicionamento de ar para a preservação. Em seu lugar foram colocadas réplicas de fibra de vidro e resina epóxica. O Taj Mahal, em Agra, Índia, é outro

monumento da humanidade que corre o risco de danos, como produto da poluição do ar.

As tintas usadas na pintura artística perdem a cor se submetidas a concentrações de ozônio típicas do smog fotoquímico das grandes cidades. Outros materiais utilizados com fins artísticos, tais como, tecidos, celulose e polímeros, também são afetados por altas concentrações de ozônio. Para o ar dos museus, recomenda-se que a concentração destes poluentes não ultrapasse 0,001 ppm. Sistemas de filtragem com carvão ativado e redução da freqüência de troca de ar nos sistemas de ventilação, são utilizados a fim de reduzir as concentrações de ozônio em museus e galerias.

3.3.5. Alterações do Clima, Visibilidade e Radiação Solar

As alterações das propriedades da atmosfera em regiões urbanas, com alta poluição do ar, é comum verificar a redução da visibilidade, formação de névoa, redução da intensidade de radiação solar e a alteração da distribuição das temperaturas e do vento.

Devem-se considerar, principalmente, alterações pela interação da luz com partículas em suspensão (reflexão e absorção). A diminuição da intensidade de radiação solar direta, devida a uma camada de ar poluído, é de 10 a 20% (por dispersão de luz).

3.3.6. Episódios de Poluição Atmosférica

Consideram-se episódios de poluição atmosférica, situações caracterizadas por altas concentrações de particulados durante um período determinado, provocando aumento de mortalidade em valores acima da média.

De acordo com LORA (2000), os episódios mais importantes relacionados com o controle de poluição, são os seguintes:

- Ano 1852 – registram-se em Londres doenças respiratórias causadas pela queima de carvão para calefação;

- Ano 1873 – dados de médicos ingleses indicaram “mortes em excesso” associadas a períodos de intenso smog;

- 1880, 1891, 1922, 1939 – registros de “mortes em excesso” em Londres em situações de poluição intensa;

- 1926 – o serviço público de saúde dos EUA, realizam medições da concentração de particulados em sete grandes cidades. Foram observados valores de até 3600 $\mu g/m^3$. Atualmente, a norma da EPA, fixa em 75 $\mu g/m^3$ o valor médio anual permitido;

- 1948 – Donora, USA; observou-se uma concentração alta de particulados e névoas, sem dissipação no período de 25 a 31 de Outubro. Como resultado houve 20 mortes e 1.440 pessoas afetadas severamente;

- 1952 – Londres: 4.000 mortes em conseqüência da poluição do ar durante um período de 4 dias. A concentração de SO_2 alcançou 3.510 $\mu g/m^3$. Como forma de comparação, o padrão EPA-NAAQS (1996), é 365 $\mu g/m^3$, como valor máximo médio diário e 80 $\mu g/m^3$, como valor médio anual;

- 1966 – alta concentração de SO_2 e particulado em Nova York, provoca 168 mortes;

- 1984 – Bhopal Índia. Um vazamento de metil-isocianato de uma fábrica de pesticida provocou a morte de aproximadamente, 2.500 pessoas;

- 1986 – reconhecimento da ocorrência de sérios problemas ambientais nos países do leste europeu e na antiga União Soviética. Mais de 100 milhões de pessoas nesses países moram em regiões com uma concentração de poluente de 5 a 10 vezes maior que a permitida nos padrões nacionais. Em algumas cidades da República Checa em 1993 a concentração de SO_2, atingiu valores na faixa entre 400 e 800 $\mu g/m^3$;

- 1985 Cubatão SP – nos anos 50 a região de Cubatão, foi selecionada para a implantação de um pólo industrial, pois considerou-se uma região vantajosa, devido ao fácil acesso ao maior centro industrial do País, a cidade de São Paulo, e ao Porto de Santos, mais de 30 grandes indústrias, tais como, petroquímica, siderúrgicas, fertilizantes etc.

Segundo ALVES (1996), a região de Cubatão chegou a ser chamada de “vale da morte”. Em 1985 aconteceu lá, o maior acidente industrial da história, no Brasil – o rompimento e incêndio de um duto de gasolina da Petrobrás, na Vila Socó. Oficialmente, registraram-se 99 mortes, porém algumas ONGs, mencionam cifras de 500 desaparecidos.

Em 1984, começou a ser implantado pela CETESB – Agência Ambiental de São Paulo, o Programa de Controle de Poluição de Cubatão. Segundo BRITO (1996), após a realização de investimento em equipamentos e tecnologias de controle da poluição, considera-se que, aproximadamente, 90% da poluição estão controladas.

O problema mais importante sobre a situação atual na região é a concentração de particulados inaláveis e em suspensão na Região de Vila Parisi – um bairro nas proximidades do parque industrial (190 $\mu g/Nm^3$ e 200$\mu g/Nm^3$, respectivamente).

Em 1984, durante o inverno, a cidade de Cubatão entrou 16 vezes em estado de alerta. Em 1995, a CETESB, determinou a paralisação de indústrias em 8 ocasiões.

A Res.3 do CONAMA de 28/06/90, também estabeleceu os critérios para episódios agudos de poluição, conforme nota-se na tabela 3.10.

Tabela 3.10 – Critérios para episódios agudos de poluição do ar.

Parâmetro	Níveis		
	Atenção	Alerta	Emergência
Dióxido de enxofre SO_2, $\mu g/m^3$ - 24h	800	1.600	2.100
Partículas totais em suspensão, $\mu g/m^3$ - 24h	375	625	875
SO_2 x PTS	65.000	261.000	393.000
Partículas inaláveis, $\mu g/m^3$ - 24 h	250	420	500
Fumaça, $\mu g/m^3$ - 24 h	250	420	500
Monóxido de carbono, ppm - 8 horas.	15	30	40
Ozônio, $\mu g/m^3$ - 24 h	400	800	1.000
Dióxido de nitrogênio, $\mu g/m^3$ - 1 h	1.130	2.260	3.000

Fonte: CONAMA – Res. 3 (28/06/90)

3.3.7. Impacto de Caráter Regional

Inversão térmica é o principal impacto de caráter regional.

A renovação do ar se dá, através de um fenômeno conhecido como convecção. Uma das características meteorológicas mais importante na dispersão de poluentes do ar é a estabilidade atmosférica, a qual está associada aos movimentos ascendentes e descendentes de volume de ar.

MOTA (1997), afirma que em condições normais, a temperatura decresce com a altura, ficando as camadas mais frias sobre as camadas mais quentes. Ocorre uma renovação natural, com o ar mais quentes (mais leve) subindo e o ar mais frio (mais pesado) descendo, conforme figura 3.8.

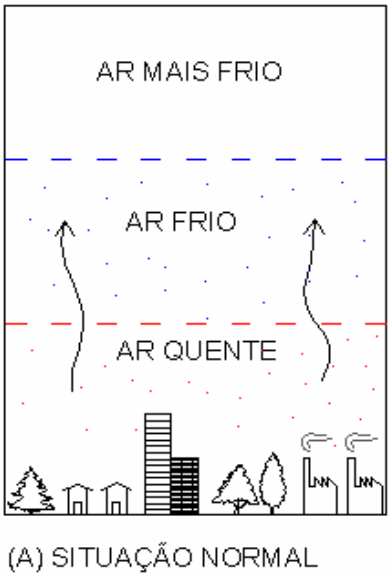


Figura 3.8 – Condições normais sem inversão térmica

Fonte: MOTA (1997)

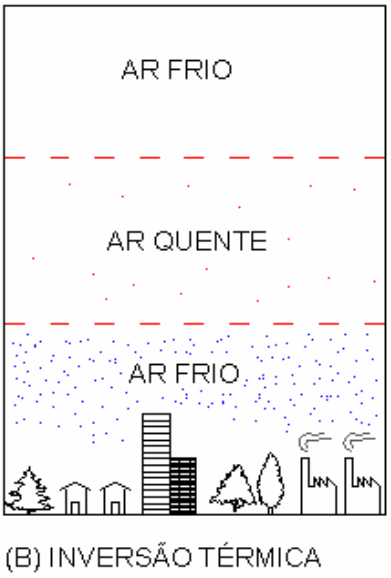


Figura 3.9 – Condições na ocorrência de inversão térmica

Fonte: MOTA (1997)

Inversão térmica, inversão de temperatura ou inversão de camada ocorre nos grandes centros urbanos, onde, devido a fenômenos meteorológicos, que dependem da velocidade do vento, da turbulência atmosférica, da insolação, do gradiente de temperatura e da precipitação, essa situação pode alterar-se, de modo que a temperatura aumenta ao invés de diminuir, com a altitude. Nessas situações, é dificultado o movimento do ar para cima, não ocorrendo a dispersão vertical dos poluentes que tendem a concentrar-se na superfície da Terra, agravando a poluição, de acordo com a figura 3.9.

Segundo DERÍSIO (1992), na região Metropolitana de São Paulo, as inversões mais prejudiciais às dispersões de poluentes ocorrem durante os meses

de maio a agosto, principalmente ao longo da noite e da madrugada, e durante grande número de horas consecutivos.

3.3.8. Impactos de Caráter Global

Os fatores agravantes da poluição atmosférica de caráter global, segundo MOTA (1997) são: efeito estufa, destruição da camada de ozônio, chuvas ácidas e smog fotoquímico.

Efeito Estufa: grande parte dos raios solares alcança a terra, sendo uma parcela refletida antes de atingir a superfície. A parte da radiação que não é refletida, é posteriormente reemitida pela Terra, sob a forma de calor. A presença de alguns gases na atmosfera, principalmente o CO_2, torna o mesmo opaca à radiação térmica que tenta sair do espaço, devolvendo-a à Terra, ocasionando o aquecimento global, fenômeno conhecido como efeito estufa. A figura 3.10, mostra o fenômeno de maneira simplificada.

Segundo GOLDEMBERG, (1989), os poluentes responsáveis pelo efeito estufa são:

- dióxido de carbono (CO_2): com 55% do fenômeno;
- metano (CH_4): 13% do fenômeno;
- clorofluorcarbono (CFC): 20% do fenômeno;
- óxido nitroso (N_2O), ozônio (O_3) e outros: 10% do fenômeno.

As atividades antropogênicas que mais contribuem para o efeito estufa são: produção de energia (57%), uso de clorofluorcarbonos (17%), agricultura (14%), anodoficações no uso do solo e desmatamento (9%) e indústria (3%).

A seguir, são apresentados alguns impactos causados pelo efeito estufa.

Elevação da temperatura: conforme SILVER & DEFRIES (1994), desde 1860, a terra já está comprometida com um aumento de 0,5 a 1,5 ºC, na sua temperatura média. Segundo modelos de circulação atmosférica prevêm que com a

concentração de CO_2, atingindo 600 ppmv (dobro do início do século passado), a temperatura média ambiente na terra subirá de 1,5 a 4,5 ºC, devido ao efeito estufa.

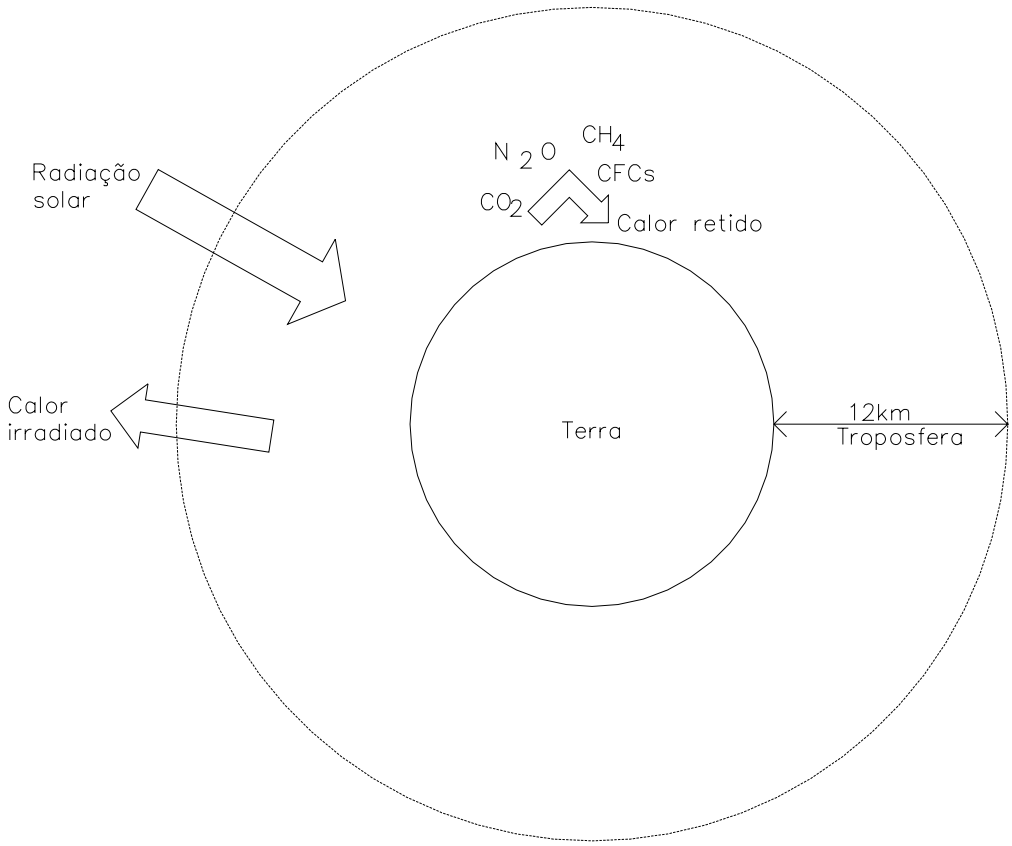


Figura 3.10 – Efeito estufa e poluentes envolvidos

Fonte: MOTA (1997)

Alterações nas precipitações pluviométricas: com a remoção da cobertura vegetal, o efeito estufa poderá causar o aumento de chuva em algumas regiões e a diminuição em outras, que repercutirão na agricultura, umidade do solo e no ciclo hidrológico, com impactos sobre a população.

Elevação do nível do mar: o aumento da temperatura da superfície terrestre derreterão as geleiras polares, liberando água, e quando os oceanos começam a absorver o calor adicional do ar sobre ele, a água se expandirá e elevará o nível do mar. Durante o século passado, o nível do mar já havia elevado 15 cm.

- **Destruição da Camada De Ozônio**

LORA (2000), afirma que o ozônio (O_3) é um gás azulado resultante da reação entre o oxigênio atômico e o molecular, de acordo com a reação química dada pela equação (3.2)

$$O + O_2 + M \leftrightarrow O_3 + M \qquad (3.2)$$

Onde: M - terceiro corpo, geralmente uma molécula de N_2 ou O_2, que absorve a energia da reação e estabiliza o O_3.

O ozônio, em altas concentrações, mais próximo do solo, na troposfera, causa danos a saúde humana tais como: doenças respiratórias, irritação nos olhos, tosse e inflamações. Já na estratosfera, ele acumula quase na totalidade, que vai dos 20 aos 50 km, ele é benéfico, pois funciona como filtro, retendo a perigosa radiação ultravioleta - UV.

Segundo MOTA (1997), os clorofluorcarbonos CFCs, não reagem com a atmosfera, mas decompostos pela radiação ultravioleta na estratosfera, liberam o cloro, que destrói o ozônio.

O buraco na camada de ozônio tem sido constatado principalmente, na Antártida, onde as condições meteorológicas contribuem para a composição química das nuvens, além das baixas temperaturas, são favoráveis às reações químicas causadoras da destruição da camada de ozônio.

De acordo com SILVER & DEFRIES (1994), embora a composição química incomum das nuvens polares estratosféricas tenha tornado a camada de ozônio da Antártida mais vulnerável do que o resto da atmosfera, existe a possibilidade de que reações químicas semelhantes possam vir a ocorrer em latitudes mais quentes. A destruição da camada de ozônio permite o aumento da radiação ultravioleta à Terra, causando graves impactos, tais como:

- danos à saúde humano: câncer de pele; enfraquecimento do sistema imunológico do organismo e incidência de catarata;

- danos às plantas: redução do crescimento; diminuição do tamanho das folhas; maior susceptibilidade às pragas, doenças, pestes e qualidade inferior das sementes;

- destruição do fitoplâncton, com impactos sobre a cadeia alimentar marinha.

- **Chuvas Ácidas**

As águas das chuvas são, normalmente, levemente ácidas, com pH, aproximadamente, igual a 5,65, devido à dissolução de gases, especialmente o CO_2.

O lançamento de gases na atmosfera, a partir de fontes poluidoras do ar, principalmente, o SO_2, e dos óxidos de nitrogênio NO_x, contribui para aumentar a acidez das águas, formando as chuvas ácidas.

Esses compostos na atmosfera, são transformados em sulfatos e nitratos e, pela combinação com o vapor d'água, em ácidos sulfúrico e nítrico, os quais provocam as chuvas ácidas, assim entendidas aquelas cujo pH seja inferior a 5,65. Quimicamente ocorre as reações; apresentadas nas equações 3.3, 3.4, 3.5 e 3.6.

$$SO_2 + ½\ O_2 = SO_3 \qquad (3.3)$$

$$H_2O + SO_3 = H_2SO_4 \qquad (3.4)$$

$$NO + ½\ (O_2) = NO_2 \qquad (3.5)$$

$$H_2O + 3H_2O \leftrightarrow NO + 2HNO_3 \qquad (3.6)$$

Segundo HAAG (1985), os principais efeitos das chuvas ácidas são:

Diminuição do pH das águas superficiais e subterrâneas, com os seguintes impactos: prejuízo ao abastecimento humano e outros usos; declínio da população de peixes; solubilidade do alumínio e metais pesados, como o cádmo, zinco, chumbo e cobre e redução de certos grupos de zooplâncton.

A seguir, apresentam-se alguns impactos causados pela chuva ácida:

- Danos à vegetação: amarelecimento das folhas; desfolhamento prematuro; diminuição do crescimento e da produtividade e morte das plantas;

- Impactos sobre o solo: alteração da química do solo; a elevação da acidez do solo libera alguns metais pesados e alumínio, tornando-os mais solúveis; pode impedir as atividades de microorganismos, influindo nos processos de decomposição e nitrificação;

- Corrosão de monumentos históricos, estátuas, edificações, obras de artes e outros materiais.

- **Smog Fotoquímico**

A Revolução Industrial tem sido centro da causa do incremento de poluente na atmosfera nos últimos 3 séculos.

Antes de 1950, segundo AMBIENTE GLOBAL (2003), a maior parte do danos poluentes eram oriundos da queima de carvão para a geração de energia, aquecimento, alimentação e transporte. Sob certas condições, a fumaça pode combinar com a *fog* para produzir o *smog* (termo que vem do inglês e deriva das palavras smoke = fumaça e fog = nevoeiro). Em altas concentrações o *smog* pode ser extremamente tóxico para os humanos e outros organismos vivos.

3.3.9. Atividades Industriais e Meio Ambiente

A LEI FEDERAL n.º 6938 de agosto de 1981, que descreve sobre a Política Nacional de Meio Ambiente, seus fins e mecanismo de formulação e aplicação no Brasil, define meio ambiente como o conjunto de condições, leis, influências e interações de ordem física, química e biológica, que permite, abriga e rege a vida em todas as suas formas.

A mesma Lei Federal define como poluidor no seu art. 3º, inciso IV, a pessoa física ou jurídica, de direito público ou privado, responsável, direto ou indiretamente, por atividade causadora de degradação ambiental.

CASTRO *et al* (1998), afirmou que a partir da década de 80, começou a tomar forma a Legislação Ambiental, tendo como referência uma tendência

mundial, cujo aspecto mais importante é o desenvolvimento industrial e a preservação ambiental. Neste período, empresas dos países desenvolvidos de setores mais vulneráveis, procuram encontrar conjunturas, e resultados favoráveis para atender as suas pendências, em virtude da pressão da sociedade civil, principalmente de grupos ambientalistas bem organizados.

GOMES (2003), apontou a necessidade de se fomentar pesquisas e formação de recursos humanos na área de Engenharia Ambiental como uma realidade mundial, mas no Brasil, ainda existe uma grande deficiência de centros de ensino e pesquisa com esta finalidade. Isto coloca o país em desvantagem, quanto ao desenvolvimento de tecnologias limpas, visando a redução e o controle da poluição. A crescente deterioração da qualidade de ar nos centros urbanos representa um problema de extrema relevância na questão do meio ambiente. O efeito da poluição atmosférica nas grandes cidades brasileiras provoca enormes danos, tanto pessoais, quanto materiais. Entretanto, entendemos que no Brasil a Legislação Ambiental, surgiu inicialmente mais por exigências dos órgãos financiadores internacionais, e posteriormente como parte das informações fornecidas por uma atividade poluidora aos sistemas de licenciamento ambiental, até ser incorporada finalmente, como um instrumento de execução da Política Nacional de Meio Ambiente. No Brasil, a constituição de 1988 confirmou a tendência à maior regulamentação ambiental para que as empresas pudessem obter autorização para o funcionamento de seus projetos. Essa tendência também foi progressivamente seguida pelos Estados e Distrito Federal. A partir desse momento, passou a existir um instrumento jurídico concedendo a qualquer cidadão brasileiro, o direto de interferir nos processos de degradação ambiental. Todas as atividades realizadas pelo homem têm impacto sobre o meio ambiente. Devemos tentar reduzir este impacto e mantê-lo dentro dos parâmetros sustentáveis. Os impactos incluem os efeitos das atividades industriais na saúde humana, vida animal, vegetal e materiais de construção. As áreas do meio ambiente a serem consideradas, são a atmosfera, o solo e as águas subterrâneas e de superfície.

De acordo com LORA (2000), uma análise da distribuição por fontes de emissão nos EUA, concluiu que mais de 75% de emissões totais de CO, têm como fonte o transporte automotivo.

Centrais termoelétricas e incineradoras de resíduos são considerados grandes emissores de poluentes. Nos incineradores, além de particulados, SO_2 e NO_x emitidos pelas centrais termoelétricas, existem dioxinas, furanos, vapores de mercúrio e outros compostos ácidos.

Esses aspectos ambientais devem ser considerados em programas de controle da poluição, principalmente quando da definição da localização de fontes poluidoras de ar. Quanto mais forem conhecidas as condições meteorológicas, melhor se poderá estimar a poluição do ar e adotar medidas, visando ao seu controle preventivo e corretivo.

Toda atividade que possa causar significativa degradação do meio ambiente deve ser precedida de estudo, o qual deve identificar e avaliar os impactos positivos e negativos sobre o meio físico, biológico e antrópico de suas áreas de influência e propor medidas mitigadoras para as conseqüências adversas e de modo a incrementar os seus benefícios.

Os usos do ar devem ser feitos de modo a não provocar mudanças em sua composição, que resultem em prejuízo à saúde e ao bem estar do homem, para tal devemos atentar:

- a necessidade de rigorosos estudos de impacto ambiental antes da implantação de uma ou várias indústrias numa região;
- as dificuldades na definição dos responsáveis pela disposição inadequada dos resíduos industriais e de altos custos dos trabalhos de remediação em lixos industriais;
- a trágica conseqüência para a mata nativa com altos índices de poluição ambiental, e o perigo de acidentes de grande parte por deslizamento de terra das encostas desmatadas (válido para regiões de morraria);
- as conseqüências de acidentes e altos índices de poluição em regiões provocadas pela população carente, nas mediações de empresas industriais;
- o pouco interesse de algumas empresas em investir em sistemas de controle da poluição do ar e na manutenção dos mesmos em operação;

- o descaso real dos órgãos do governo para com situações ambientais críticas e a utilidade das demandas judiciais contra as empresas, por parte de entidades ambientalistas e da população, para a solução das mesmas.

3.4.ÓLEO COMBUSTÍVEL

3.4.1. Classificação dos Óleos

Os combustíveis líquidos industriais mais importantes são chamados óleos residuais e fazem parte da norma CNP - CONSELHO NACIONAL DO PETRÓLEO (1982), conforme res. 09/82, revisada em 03/86, assim classificados:

Óleo combustível tipo A (BPF - Baixo ponto de fluidez), óleo combustível tipo B (APF - Alto ponto de fluidez), óleo combustível tipo C (OC-4), óleo combustível tipo D (BTE - Baixo teor de enxofre), óleo combustível tipo E, óleo combustível tipo F, óleo combustível tipo G (ultraviscoso) e óleo combustível tipo H (ultraviscoso).

TORREIRA (1995), apresenta na tabela 3.11, mostra a faixa segura de temperatura operacional em tanque de armazenagem de óleo combustível.

Tabela 3.11 – Faixa segura de temperatura operacional em tanque de armazenagem de óleo combustível.

TIPO DE ÓLEO COMBUSTÍVEL	TEMPERATURA MÍNIMA °C	TEMPERATURA MÁXIMA °C
1A	30	55
1B	30	60
2A	30	60
3A	40	75

Fonte: TORREIRA (1995)

3.4.2. Óleo Combustível

TORREIRA (1995), estabelece que a origem do petróleo deve-se a decomposição da vida marinha, seja animal, como vegetal. Durante as várias eras geológicas, o mar tem coberto parcialmente os atuais continentes. Isto permitiu a acumulação de carcaças de animais marinhos, e matéria vegetal durante milhões de anos. A pressão e o calor causado pelo movimento da crosta terrestre transformou estes depósitos existentes nas rochas e área embaixo da superfície da terra. O óleo

apresenta uma camada de água subjacente, e acima, cavidades de gás natural pressurizado. As brocas de prospecção perfurando estas camadas penetram nos depósitos, e a pressão força o gás e óleo para a superfície.

3.4.3. Composição Química do Óleo Combustível

O óleo combustível é uma mistura de alguns componentes orgânicos, principalmente de carbono e hidrogênio. Sua composição é praticamente uniforme dentro dos limites apresentados na tabela 3.12.

Tabela 3.12 – Índice percentual dos elementos que compõe o óleo combustível

Composição do óleo combustível	Índice percentual
Carbono (C)	83 a 87 %
Hidrogênio (H)	11 a 16 %
Oxigênio (O) + Nitrogênio (N)	0 a 7%
Enxofre (S)	0 a 4 %

Fonte: TORREIRA (1995)

Dos combustíveis líquidos originados da refinação do petróleo, o óleo combustível é o único que tem aplicação em caldeiras. Oferece mais segurança, dificilmente inflama, sendo praticamente não explosivo sob condições ambientais naturais.

3.5.CONCEITOS BÁSICOS DA COMBUSTÃO

3.5.1. Combustão

SOUZA (2000), definiu a combustão, ou queima, como sendo a rápida combinação de um combustível com oxigênio (comburente) e calor. Portanto, para haver combustão são necessários três componentes: calor, oxigênio e combustível. Na Figura 3.11, mostra-se o esquema do Triângulo de Fogo.

O calor necessário para iniciar a combustão pode ser fornecido por uma chama piloto ou uma centelha de ignição. Iniciada a combustão, o próprio calor que ela produz sustenta a continuação do processo. Basicamente, a combustão é uma reação química de um combustível e comburente.

Um exemplo de que o calor é produzido na combustão é o próprio motor do carro. Nos cilindros do motor, ocorre a queima do combustível com a

presença de ar e de centelha produzida pela vela. O produto desta queima é o calor que provoca expansão dos gases no cilindro (aumento de volume), gerando o movimento do pistão e resultando no movimento do carro.

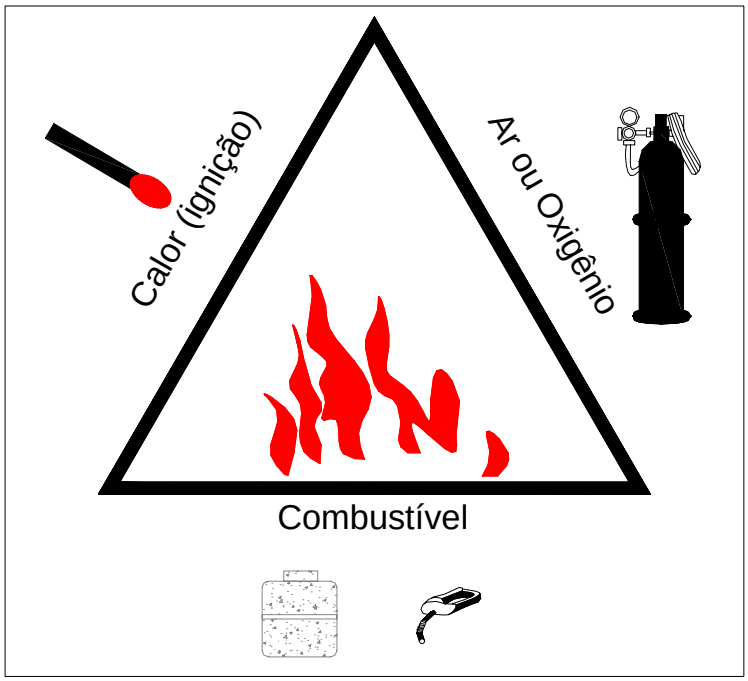


Figura 3.11 – Triângulo do fogo na combustão

Fonte: SENAI (1995)

3.5.2. Combustível

Para SOUZA (2000), combustível é a substância que queima e contém em sua composição, principalmente, carbono e hidrogênio, além de outros que o compõem, que ao queimar em presença de oxigênio, desprendem uma grande quantidade de calor, formando gás carbônico e vapor d'água, segundo a reação química apresentada na equação 3.7:

$$CxHy + zO_2 \longrightarrow xCO_2 + \frac{1}{y} H_2O + calor \qquad (3.7)$$

Onde: $z = x + \frac{y}{4}$

O resultado da queima do combustível produz calor da seguinte maneira:

Carbono + Oxigênio → Gás Carbônico + Calor

Hidrogênio + Oxigênio → Vapor de Água + Calor.

3.5.3. Classificação dos Combustíveis

De acordo com SOUZA (2000) os combustíveis normalmente queimados nas câmaras de combustão de caldeiras e fornos podem ser classificados de acordo com o seu estado físico, em sólidos, líquidos ou gasosos:

Sólidos: Madeira, turfa, linhito, hulha, carvão vegetal, coque de carvão, coque de petróleo, bagaço de cana etc.

Líquidos: Petróleo, óleo de xisto, alcatrão, álcool e óleos vegetais.

Gasosos: Metano, hidrogênio, gás liquefeito de petróleo (butano e propano), gás de coqueria (siderúrgica), gás natural (metano e etano), biogás etc.

É importante salientar que os elementos considerados combustíveis industriais são mais restritos e são compostos de carbono e outros elementos que podem ser queimados facilmente com oxigênio do ar atmosférico, liberando grande quantidade de calor facilmente controlável.

3.6.POLUIÇÃO SONORA

A Poluição sonora: ocorre quando os ruídos alcançam níveis prejudiciais a saúde e ao sossego público.

MOTA (1997), diferencia som de ruído da seguinte forma: som é o resultado de um movimento vibratório transmitido através de ondas, em um meio elástico, caracterizando-se por uma sensação capaz de impressionar o órgão auditivo dos homens e dos animais (sensação sonora). As ondas sonoras precisam de um meio com massa e elasticidade para se propagarem em meio gasoso, líquido ou sólido. O principal meio de propagação do som é o ar. Ruído pode ser definido como um som indesejável, ou seja, desagradável ao homem.

3.6.1. Decibel Acústico – dB (A)

A intensidade do som é expressa em unidade de pressão sonora, cujos limites são: 0,0002 dina/cm^2, correspondente à mínima sensação auditiva e 2x10^{10} dina/cm^2, relativa ao limiar da dor de ouvido. Como esta variação de 10^{14} dina/cm^2, é muito grande, utiliza-se a escala logarítmica que comprime estes valores para 0 dB e 140 dB, respectivamente através da equação 3.8.

$$dB(A) = 10 \log \frac{P_1}{P_2} \qquad 3.8$$

Onde P_1 = Pressão sonora produzida pela fonte.

P_2 = Pressão mínima audível (0,0002 dina/cm^2)

dB(A) = Pressão sonora em dB.

A equação 3.11, mostra que ao dobrar a sensação sonora em dina/cm^2, há um acréscimo de 3 dB, isto é:

$$dB(A) = 10 \log \frac{P_1}{P_2} = 10 \log 2 = 3dB$$

A EPA-US (1976), apresenta na tabela 3.13, uma escala associando a origem de diversas fontes de sons aos seus níveis em dB(A).

Tabela 3.13 - Tipos e níveis de escala de som.

TIPO DE SOM	NÍVEL MÉDIO - dB(A)
Tiro de canhão (1 m)	140
Avião a jato decolando (30m)	130
Sirene de bombeiro (1m)	120
Britadeira/Buzina de carro (1m)/Show de Rock	110
Jato decolando (40m) e moto com escape livre (1m)	100
Esquina de rua movimentada	90
Choro de criança (1m) e caminhão descarga de lixo (15 m)	80
Aspirador de pó (1m)/Tráfego intenso de auto estrada	70
Conversa em tom normal/ar condicionado (6m)	60
Rua sossegada	50
Rasgar um papel (1m)	40
Sussurros normais (1m)	30
Sussurros muito baixos/Brisa nas folhas de uma árvore	10
Nível mínimo de audição	0

Fonte: EPA - US (1976)

Muitas atividades do homem resultam na poluição sonora principalmente nos grandes centros urbanos. Entre as principais fontes de poluição sonora, destacam-se: atividades industriais, meios de transporte terrestre como

veículos automotores, trens, metrôs de superfície, tráfego aéreo, obras de construção civil (bate - estaca, serras, equipamentos pesados), oficinas mecânicas e lanternagem, alto-falantes, rádios, equipamentos de som, aparelhos eletrodomésticos, restaurantes, bares, boates, pistas de dança, clubes, casas de "show" e outras fontes de ruído (buzinas, matracas, campainhas, sirenes, apitos morteiros, bombas etc.).

3.6.2. Interferência da Poluição Sonora no Homem

A tabela 3.14, fornecida pela EPA-US (1976), apresenta as interferências no homem de acordo com o nível de som em dB(A).

Tabela 3.14 – Interferências causadas ao homem de acordo com a exposição a ruídos contínuos.

INTERFERÊNCIA NO HOMEM	NÍVEL - dB(A)
Limite da audição	0
Levemente audível	10
Muito calmo	30
Provoca interferência na concentração	60
Início dos danos a audição	70
Incômodo	80
Muito incômodo	90
Dolorosamente audível (limiar da dor de ouvido)	140

Fonte: EPA - US (1976)

Segundo MOTA (1997), a exposição do homem aos ruídos pode causar-lhe danos à saúde, dependendo de vários fatores:

- intensidade: quanto mais alta mais danosa;
- faixa de freqüência: quanto mais elevada maior o dano;
- período de exposição: pessoas que permanecem muito tempo expostas a ruídos sofrem mais os seus efeitos;
- intermitência ou continuidade: ruídos contínuos prejudicam a audição; ruídos intermitentes interferem no sistema nervoso, esses efeitos podem ocorrer em conjunto;
- característica de cada indivíduo: susceptibilidade; lesões interiores no aparelho auditivo.

O incômodo causado pelo som é relativo. O que é considerado incômodo por uns, pode não ser por outros. Por exemplo, o barulho de um “Show de Rock”, agrada aos jovens que o freqüentam, mas importunam outras pessoas. Às vezes, o som tem baixa intensidade, mas é intermitente, irritando quem escuta. É o caso do rangido de um armador de rede de dormir ou o som produzido pela queda de gotas d’água em uma torneira.

As principais conseqüências da poluição sonora à saúde humana são: perda gradativa da audição, incômodo, irritação, exaustão física, perturbação do sono, insônia, fadiga, “stress”, problema cardiovascular, gastrite, aumento da produção de hormônios da tireóide, redução da eficiência e ocorrência de acidentes nos locais de trabalho, prejuízo à saúde e bem estar do homem, com efeitos que podem ser físicos, psicológicos, sociais ou econômicos.

A tabela 3.15, mostra a relação dos limites de tolerância do ser humano a ruídos contínuos, estabelecidos pelo Ministério do Trabalho e Previdência Social - (MTPS).

Tabela 3.15 – Relação dos limites de tolerância a ruídos sem que se resulte danos ao ouvido humano em ambiente de trabalho.

TEMPO MÁXIMO POR DIA	NÍVEL DE RUÍDO – dB(A)
8h	85
7h	86
6h	87
5h	88
4h30min	89
4h	90
3h30min	91
3h	92
2h40min	93
2h15min	94
2h	95
1h45min	96
1h15min	98
1h	100
45min	102
35min	104
30min	105
25min	106
20min	108

Fonte: Ministério do Trabalho e Previdência Social (2003)

Denomina-se fadiga auditiva a perda gradativa da audição em pessoas que ficam expostas a níveis de ruídos acima de 85 dB(A), por períodos acima dos apresentados na tabela 3.15.

O grande problema é que os efeitos não são imediatos, só sendo percebidos a longo prazo. O primeiro sintoma inicia com um “zumbido” nos ouvidos, passando então à dificuldade de escutar determinadas freqüências até a surdez, cujos danos ao ouvido são irreversíveis, isto é, não há cura para pessoas afetadas pela fadiga auditiva.

3.6.3. Padrões de Emissão de Ruídos

Com o objetivo de garantir o conforto acústico ou evitar danos à saúde das pessoas, têm sido estabelecidos níveis máximos de ruídos para ambientes internos e externos em função de uso do solo e do período de exposição dos mesmos.

A SEMACE (1987), na tabela 3.16, estabelece os níveis sonoros para alguns tipos de uso, em ambientes externos e internos, a serem observados nos períodos diurno e noturno.

Tabela 3.16 – Níveis sonoros recomendados para os tipos de uso do solo.

TIPO DE USO	AMBIENTES EXTERNOS		AMBIENTES INTERNOS	
	PERÍODO		PERÍODO	
	DIURNO dB(A)	NOTURNO dB(A)	DIURNO dB(A)	NOTURNO dB(A)
Residencial	55	50	45	40
Diversificado	65	60	55	50
Predominantemente Industrial	70	65	60	55

Fonte: SEMACE (1987)

De acordo com o Conselho Nacional de Meio Ambiente (CONAMA), através da Resolução nº 01 de 08 de Março de 1990, estabelece normas a serem obedecidas, no interesse da saúde, no tocante à emissão de ruídos em decorrência de quaisquer atividades. De acordo com esta Resolução, são prejudiciais à saúde e ao sossego público os ruídos com níveis superiores aos considerados aceitáveis pela Norma NBR - 10152 da ABNT, conforme tabela 3.17.

Tabela 3.17 – Níveis de ruídos compatíveis com o conforto acústico.

LOCAIS	NÍVEIS – dB(A)
Hospitais, Apartamentos, Enfermarias, Berçários, Centros cirúrgicos. Laboratórios, Áreas de uso público. Serviços	 35-45 40-50 45-55
Escolas Bibliotecas, Salas de Música, Salas de desenho. Salas de aula, Laboratórios. Circulação	 35-45 40-50 45-55
Hotéis Apartamentos Restaurantes, Salas de estar. Portaria, Recepção, Circulação.	 35-45 40-50 45-55
Residências Dormitórios Salas de estar	 35-45 40-50
Auditórios Salas de concertos, Teatros. Salas de conferências, Cinemas, Salas de uso múltiplo.	 30-40 35-45
Restaurantes	40-50
Escritórios Salas de reunião. Salas de gerência, Salas de projeto e de administração. Salas de computadores. Salas de mecanografia.	 30-40 35-45 45-65 50-60
Igrejas e Templos (cultos meditativos)	40-50
Locais para esporte Pavilhões fechados para espetáculos e atividades esportivas	 45-60

Fonte: ABNT - NBR - 10152/87

3.6.4. Controle da Poluição Sonora

O controle da poluição sonora deve ter como objetivo garantir que os níveis de ruído não ultrapassem os limites estabelecidos para os diversos ambientes do homem, sejam externos ou internos. Este controle é realizado de três maneiras

distintas: Proteção da Emissão de Ruídos, Proteção dos Receptores e Disciplinamento do Uso e Ocupação do Solo.

Controle da Emissão de Ruídos

O Controle visa reduzir os níveis de emissão de ruídos e é conseguido através de providências fornecidos por MOTA (1997).

- aperfeiçoamento dos equipamentos, de forma a reduzir o barulho produzido pelos mesmos;
- manutenção dos equipamentos de lubrificação, alinhamento de rolamentos e eixos, e suportes antivibratórios;
- isolamento das fontes de ruídos: paredes com materiais que impeçam a propagação do som (isolantes acústicos) e abafadores de ruídos instalados nos escapes de máquinas, movidas a combustíveis fósseis;
- regulagem das descargas dos veículos;
- disciplinamento dos horários de funcionamento de equipamentos barulhentos.

Proteção dos Receptores

São medidas a serem adotadas visando a não permitir a exposição das pessoas a ruídos em níveis excessivos: isolamento de ambientes internos (isolamento acústico), redução do período de exposição ao ruído, diminuição da jornada de trabalho, uso de protetores auditivos individuais nos locais de trabalho, criação de barreiras à propagação dos ruídos. Para minimizar ruídos excessivos em recintos fechados, graças ao progresso da eletrônica, foram desenvolvidos microprocessadores anti-som que consistem em produzir um som de mesma freqüência e intensidade, mas de fase oposta, denominado resultando uma atenuação de até 10 dB(A) em ambientes internos, onde se deseja reduzir os ruídos.

Disciplinamento do Uso e Ocupação do Solo

Uma das medidas mais eficazes de atenuação de ruídos é o afastamento da fonte e a área receptora. De acordo com EPA-US (1976), a

intensidade do som decresce inversamente com o quadrado da distância da fonte. Em outras palavras, cada vez que a distância da fonte de ruído dobrar, a pressão do som em dina/cm^2 é reduzida a metade. Assim, a distribuição das diversas atividades considerando os afastamentos entre as fontes de ruído e os usos sensíveis (residencial, hospitais, escolas, bibliotecas, etc.) é uma medida a ser considerada no disciplinamento do uso do solo de uma cidade com a adoção das seguintes providências: fazer zoneamento da área urbana, de modo que, os emissores de som de alta intensidade fiquem adequadamente afastados dos usos sensíveis ao barulho; verificar a direção predominante e a velocidade dos ventos; o tipo de cobertura do solo; o arranjo das edificações e as barreiras naturais e artificiais.

As vegetações que formam barreiras compactas, tipo touceiras, apresentam melhores atenuações. Estudos realizados por VILAÇA & VIEIRA (1983), observando o comportamento acústico de oito espécies vegetais tropicais, concluíram que a palmeira bambu (*Chrysalidocarpus lutescens*), o bambu (*Bamusci multiplex*) e a vergonha-de-estudante (*Dombeya wallichii*), apresentam bons resultados como barreiras à propagação de sons. A redução dos ruídos provenientes dos veículos automotores, pode ser conseguida através da disposição adequada em vias de grande movimento, localizando-as afastadas de áreas residenciais, hospitalares e escolares e o incentivo a melhoria do transporte coletivo, reduzindo o número de veículos circulantes e proibição do tráfego de veículos pesados, em áreas onde os níveis de ruído não devem ser elevados.

4 MATERIAIS E MÉTODOS

4.1. MATERIAIS

Este trabalho foi desenvolvido na dependência do Hospital Universitário, da Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, em Campo Grande – MS, utilizando caldeira geradora de vapor, do tipo Flamotubular com retorno de chama.

A finalidade da caldeira é fornecer vapor d'água ao hospital, cujo atendimento é dividido em: lavanderia (70% da produção), nutrição (20% da produção) e esterilização (10% da produção).

A cidade de Campo Grande – MS, está localizada na região central do Estado de Mato Grosso do Sul, que apresenta pólo comercial e industrial e ainda, tem na agropecuária sua principal atividade econômica. As cordenadas geográficas da caldeira fornecidas pelo GPS de fabricação BRUNTON, modelo Multi Navegator, configurado em sistema Datum SAD 69, são: latitude de 20º 30' 3,7" Sul, longitude 54º 37' 8,8" oeste e altitude 540m.

De acordo com a INMET (2003), a temperatura média no período entre 1993 e 2002, foi de: temperatura máxima média - 28,97 ºC, temperatura mínima média - 19,01 ºC, temperatura média - 23,39 ºC, umidade relativa média: 60%, velocidade do vento média - 5 km/h.

As medições das concentrações de monóxido de carbono (CO), dióxido de carbono (CO_2), monóxido de nitrogênio (NO) e dióxido de nitrogênio (NO_2), geradas na combustão pela caldeira a óleo combustível, foi através do analisador TESTO 350 XL e os níveis de ruídos foram medidos com um decibelímetro Minipa, modelo MSL-1351.

A figura 4.1, apresenta a caldeira a óleo combustível, que atende o Hospital Universitário.

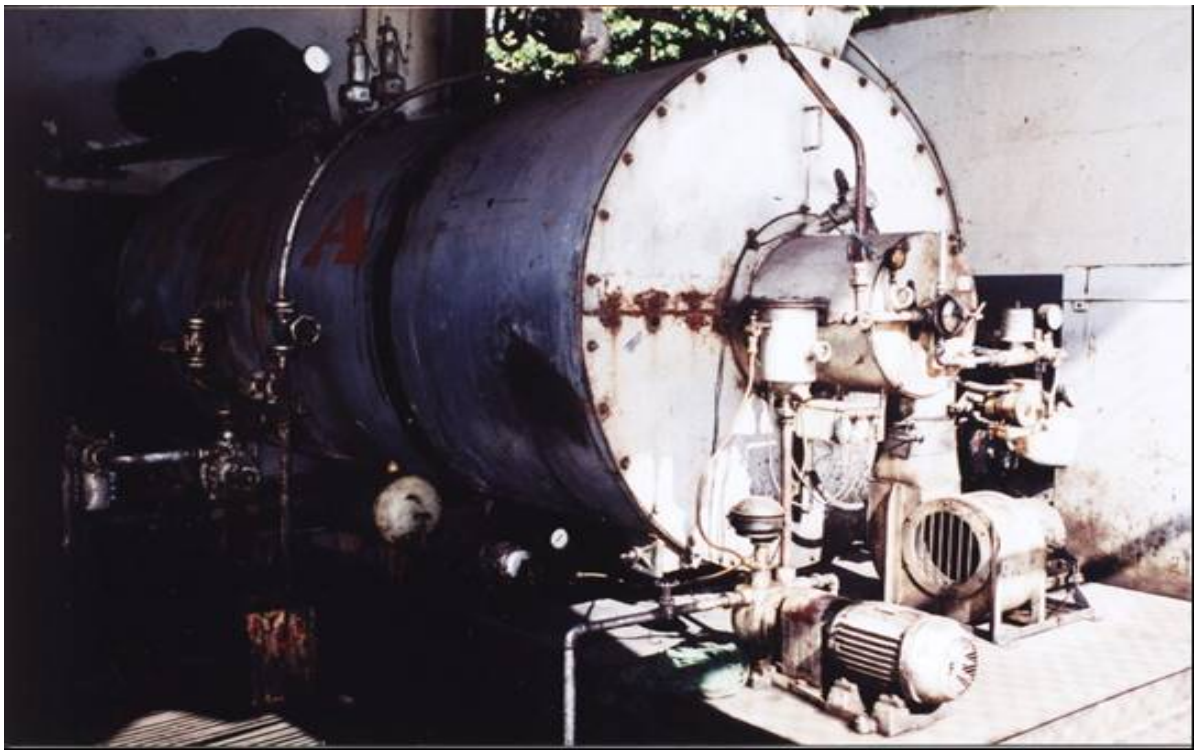


Figura 4.1 – Caldeira Flamotubular a Óleo Combustível instalada no Hospital Universitário da UFMS – Campo Grande – MS

4.1.1. CARACTERÍSTICAS DA CALDEIRA

A caldeira utilizada neste trabalho, apresenta as seguintes características:

4.1a - Classificação da Caldeira

- quanto à troca térmica: flamotubular de três passos;
- quanto ao tipo de energia: líquido;
- quanto à automatização: semi-automática;
- quanto à classe de pressão: Tipo B – pressão de operação superior a 6 $kgf.cm^{-2}$ e inferior à 20 $kgf.cm^{-2}$;
- quanto ao combustível utilizado: Óleo BPF-2A;

4.1b - Características de Construção

- fabricante: ATA;
- n° da caldeira: 7311;
- código do projeto: H3;
- ano de fabricação: 1983;
- pressão máxima de trabalho admissível – PMTA: 10,55 $kgf.cm^{-2}$;
- pressão de trabalho: 8,00 $kgf.cm^{-2}$ (classe B);
- pressão de prova: 15,82 $kgf.cm^{-2}$;
- capacidade de produção de vapor: 2000 kg/h (2 toneladas/h);
- área de troca de calor: 62 m^2.

4.1c - Sistema de Alimentação de Combustível

- combustível utilizado na partida: diesel;
- combustível utilizado durante o funcionamento normal: Óleo BPF- 2A;
- consumo máximo de Combustível: 30.000 kg/mês;
- tipo de Combustor/Queimador: atomizador;
- temperatura do óleo: 120º C.

4.1d - Sistema de Alimentador de Ar e Exaustão de Gases

- tipo de alimentador de Ar: ventilador;
- temperatura de Ar Primário: ambiente;
- temperatura na base da chaminé: 250º C;
- diâmetro da chaminé: 0,40 m;
- altura da chaminé: 8 m;
- possui soprador de fuligem;
- não possui equipamento de controle de emissão de gases.

4.1e - Sistema de Alimentação de Água

- fonte de captação da água de alimentação: poço artesiano;
- capacidade de reservatório de água: 4000 L (4 m^3);
- altura do reservatório: 4 m;
- temperatura de alimentação da água da caldeira: 20º C;
- não possui desaerador;
- o condensado é reaproveitado;
- temperatura do condensado: 80º C;
- possui tratamento de água tipo dosador com bomba d'água;
- análise da água da caldeira é realizada pela empresa terceirizada AQUATRAT;
- período de tempo de análise de água da caldeira: mensal;
- descarga de fundo: manual a cada 4 horas por 10s.

4.1f - Manutenção e Segurança

- realiza manutenção preventiva;
- não possui equipe de manutenção;
- possui equipamento de segurança na casa de caldeiras;
- não possui um plano de emergência para acidentes;
- número de válvulas de segurança: 02 (dois);
- período de limpeza da caldeira: trimestral, por 7 dias;
- período de inspeção na caldeira: anual, por 7 dias;
- norma regulamentadora para Caldeiras e Vasos de Pressão: ABNT - NR 13.

4.1g – Operadores da Caldeira

- número de operadores: 05;
- escolaridade dos operadores: 1º Grau;

- curso operacional dos operadores: segurança para operadores de caldeiras com certificado do curso.

4.1h – Horário de Funcionamento

- período de funcionamento: 18 horas por dia, durante 03 meses.
- Horário de funcionamento diário: das 6:00 às 24:00 horas.

4.1.2. ANALISADOR DE POLUENTES ATMOSFÉRICOS

Para medir os poluentes atmosféricos avaliados neste trabalho, foi utilizado o analisador de poluentes atmosféricos de fabricação Testo, modelo 350XL. A figura 4.2, mostra o analisador utilizado neste trabalho. O analisador é calibrado pelo fabricante, com garantia de dois anos, que se encontra dentro do prazo de validade de calibração, pois foi adquirido em maio de 2003.

As especificações do equipamento são fornecidas nos quadros 4.1 e 4.2.

Figura 4.2 – Analisador de Poluentes Atmosféricos da TESTO – 350 XL.

Quadro 4.1 – Dados técnicos na medição de O_2 e CO do analisador de poluentes atmosféricos TESTO – 350 XL

Tipo de Sonda	Medição de Temperatura	Medição de O_2	Medição de CO (H_2 Compensado)	Medição CO (Baixo)
Faixa de medição	-40 a 1200°C	0 a 25 Vol (%)	0 a 10.000 ppm	0 a 500 ppm
Exatidão ± 1 digito	± 0,5% de v.m. (100 a 1200°C) ± 0,5 °C (-40 a 99,9°C)	± 0,8% de v.f. (0 a 25%)	± 10% de v.m. (100 a 200 ppm) ± 10% de v.m. (2001 a 10.000 ppm) ± 5 ppm (0 a 99 ppm)	± 5% de v.m. (40 a 500 ppm) ± 2 ppm (0 a 39,9 ppm)
Resolução	0,1°C (-40 a 25%)	0,1% Volume (0 a 25%)	1 ppm (0 a 10.000 ppm)	0,1 ppm (0 a 500 ppm)
Tempo de resposta	-	20s	40s	40 s

Onde:

v.m. – volume máximo.

v.f. – volume fracionado.

Quadro 4.2 – Dados técnicos na medição de CO_2, NO e NO_2 do analisador de poluentes atmosféricos TESTO – 350 XL

Tipo de Sonda	Medição de CO_2	Medição de NO	Medição de NO (Baixo)	Medição de NO_2
Faixa de medição	0 a Volume máximo (%)	0 a 3.000 ppm	0 a 3.000 ppm	0 a 500 ppm
Exatidão ± 1 digito	Calculado a partir de O_2	± 5% de v.m. (100 a 1.999,9 ppm) ± 10% de v.m. (2.000 a 3.000 ppm) ± 5 ppm (0 à 99 ppm)	± 5% de v.m. (40 a 300 ppm) ± 2 ppm (0 a 39,9 ppm)	± 5% de v.m. (100 a 500 ppm) ± 5 ppm (0 a 99,9 ppm)
Resolução	0,01 Vol.(%)	1 ppm (0 a 3.000 ppm)	0,1 ppm (0 a 300 ppm)	0,1 ppm (0 à 500 ppm)
Tempo de resposta	20s	30s	30s	40s

Características Adicionais do analisador TESTO – 350XL

- memória: 250.000 leituras;
- alimentação: 90 à 260 V (47 à 63 Hz) ou bateria recarregável
- Corrente: 0,5A (110 Vac) e 0,3A (230 Vac);
- ponto de orvalho 0 à 99°C;
- pressão máxima positiva: 50 hPa (0,5 mca);
- pressão máxima negativa: 200 hPa (2 mca);
- fluxo da bomba: 0,8 m/s com fluxo monitorado;
- carga máxima de poeira: 20 $g.m^{-3}$ de poeira no tubo;
- carga máxima de umidade: 70°C (temperatura do ponto de orvalho na entrada);
- fatores de diluição para CO: 0, 2, 5, 10, 20, 40;
- diluição gasosa: ar limpo ou N_2;
- exatidão: 2% para leituras maiores que as máximas.

4.1.3. DECIBELÍMETRO

Para medir as emissões de ruídos sonoros, foi utilizado um medidor de níveis de som, denominado decibelímetro.

A figura 4.3, mostra o decibelímetro da marca MINIPA, modelo MSL-1351C, usado neste trabalho.

Figura 4.3 – Decilbelímetro Minipa, modelo MSL-1351

Especificação do decibelímetro

- conformidade com as normas: IEC-651 tipo 2 e ANSI S1.4 tipo para decibelímetros;
- norma de segurança: de acordo com EMC (CE);
- ambiente de operação: 0º a 40º, RH < 90%, atitude < 2000m;
- ambiente de armazenamento: -10ºC a 60ºC, RH < 75%;
- alimentação: bateria de 9V;
- atualização do Display: 0,5s;
- faixas: 30 – 80dB(Lo), 50 – 100dB (Med) e 80 – 130dB (Hi).

- faixa Dinâmica: 50dB.
- precisão: ± 1,5 dB (94dB/1kHz).
- ponderação em freqüência: A e C.
- faixa de freqüência: 31,5Hz a 8kHz.
- Resposta: lenta (1s) ou rápida (125ms).
- Função alarme: mostra quando a intensidade de ruído medida, está abaixo ou acima da faixa mensurável.
- função MAX/MIN: Congela leituras máximas e mínimas.
- saída AC: fundo de escala 1V (RMS) com impedância de saída de 50Ω.
- saída DC: 10mV/dB, impedância de saída aproximada 100Ω;
- microfone: Eletreto de ½”.

4.1.4. REFORMA DA CALDEIRA

Quando foram realizadas as medições na primeira etapa, a caldeira estava funcionando em caráter precário, com muita emissão de fumaça e particulados. Devido às reclamações dos moradores próximos a caldeira, que protestavam através dos meios de comunicação (jornais, rádio e televisão), a UFMS submeteu a caldeira à uma reforma geral.

Na reforma geral da caldeira, foram realizados os seguintes serviços:

- desmontagem do sistema de queima para remoção das tampas dianteiras da caldeira;
- abertura da caldeira, constando de retirada das tampas dianteiras e traseiras;

- remoção da estrutura do trapézio, inclusive suportes, do anel de fogo e da pedra cônica;

- remoção de 96 tubos de fogo;

- teste de trinca com líquido penetrante no espelho dianteiro, nos alojamentos das tubulações, na junção do tirante com o espelho, no perímetro das conexões com as bocas de visita e de inspeção e com as entradas e saídas de água e vapor;

- instalação do espelho com solda arco voltaico com atmosfera protegida;

- revisão e recuperação do espelho dianteiro;

- instalação de 96 (noventa e seis), tubos de fogo, expandidos e/ou fixados por solda a arco voltaico, conforme a montagem original da caldeira;

- montagem dos suportes do trapézio, instalação do trapézio, anel de fogo e pedra cônica;

- reposição de concreto, prisioneiros, graxetas, e vedações nas tampas dianteiras e traseiras;

- preparo da caldeira para pintura geral do chassi em tinta preta e do corpo e acessórios da caldeira em alumínio, capaz de suportar 300ºC;

- montagem do sistema de queima com limpeza e ajuste, mas sem reposição ou reforma de materiais ou acessórios, para colocação em funcionamento (start up) em fogo brando.

A figura 4.4, apresenta o aspecto dos tubos de fogo após serem retirados da caldeira antes da recuperação geral.

A formação dessas crostas que impregnam a superfície externa dos tubos de fogos, podem ser evitados com a remoção dos íons de cálcio e magnésio, por processos de deizonização ou de osmose reversa, que retenham o carbonato de cálcio contido na água que alimenta a caldeira, melhorando desta maneira a eficiência da troca de calor da caldeira. A água contendo cálcio e magnésio com teores elevados é denominada água dura.

A figura 4.5, exibe o aspecto interno da caldeira, após serem substituídos os tubos de fogo.

Figura 4.4 – Tubos de fogo impregnados por crosta de carbonato de cálcio retirados para reforma.

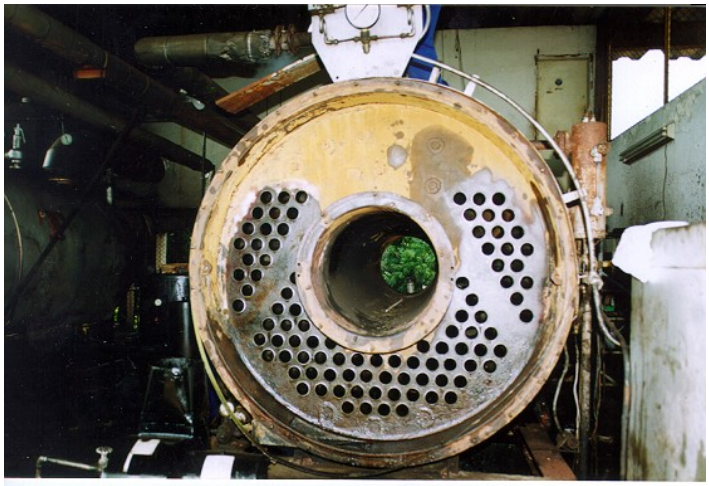


Figura 4.5 – Vista frontal da caldeira após substituição dos tubos de fogo em disposição trapezoidal.

4.2.MÉTODOS.

Para comparar os poluentes atmosféricos monóxido de carbono (CO), dióxido de carbono (CO_2), monóxido de nitrogênio (NO), dióxido de nitrogênio (NO_2) e óxido de nitrogênio (NO_x) e os níveis de ruídos gerados pela caldeira flamotubular a óleo combustível BPF 2A, foram realizadas duas etapas:

1ª etapa: antes da caldeira ser submetida à uma revisão e recuperação geral.

2ª etapa: após a caldeira ser submetida à uma revisão e recuperação geral.

Em ambas as etapas, dentro da chaminé da caldeira, cada resultado de concentração de poluentes gasosos, foi calculado, considerando-se a média aritmética dos valores medidos: no centro da chaminé da caldeira (CC), a 5 cm do centro da chaminé da caldeira, a 10 cm do centro da chaminé da caldeira e a 15 cm do centro da chaminé da caldeira, conforme detalhes esquemáticos da transversal da chaminé, mostrado na figura 4.6. O orifício para a introdução da sonda coletora dos poluentes atmosféricos, foi de 10 mm de diâmetro e a altura de 2,5 m do piso acabado.

Também foram avaliados:

- níveis de poluentes atmosféricos na base da chaminé (BC);
- níveis de poluentes atmosféricos a 10m da base da chaminé;
- níveis de ruídos emitidos pela caldeira a 1m, 2m, 4m e 8m de distância da fonte geradora de ruídos.

A figura 4.7, mostra os locais onde foram medidos os poluentes atmosféricos.

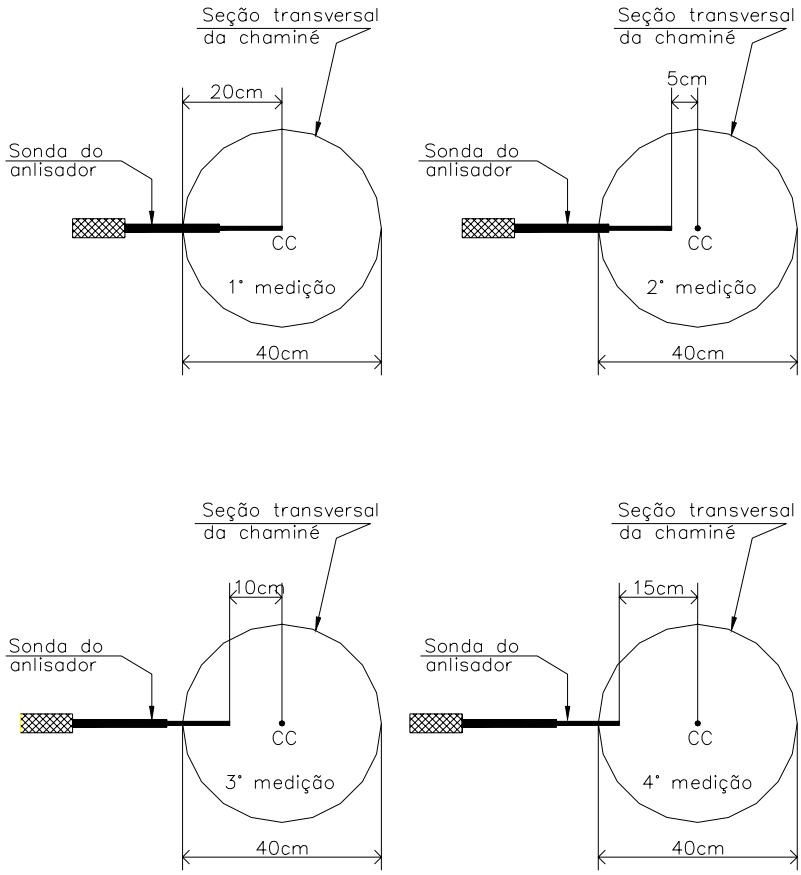


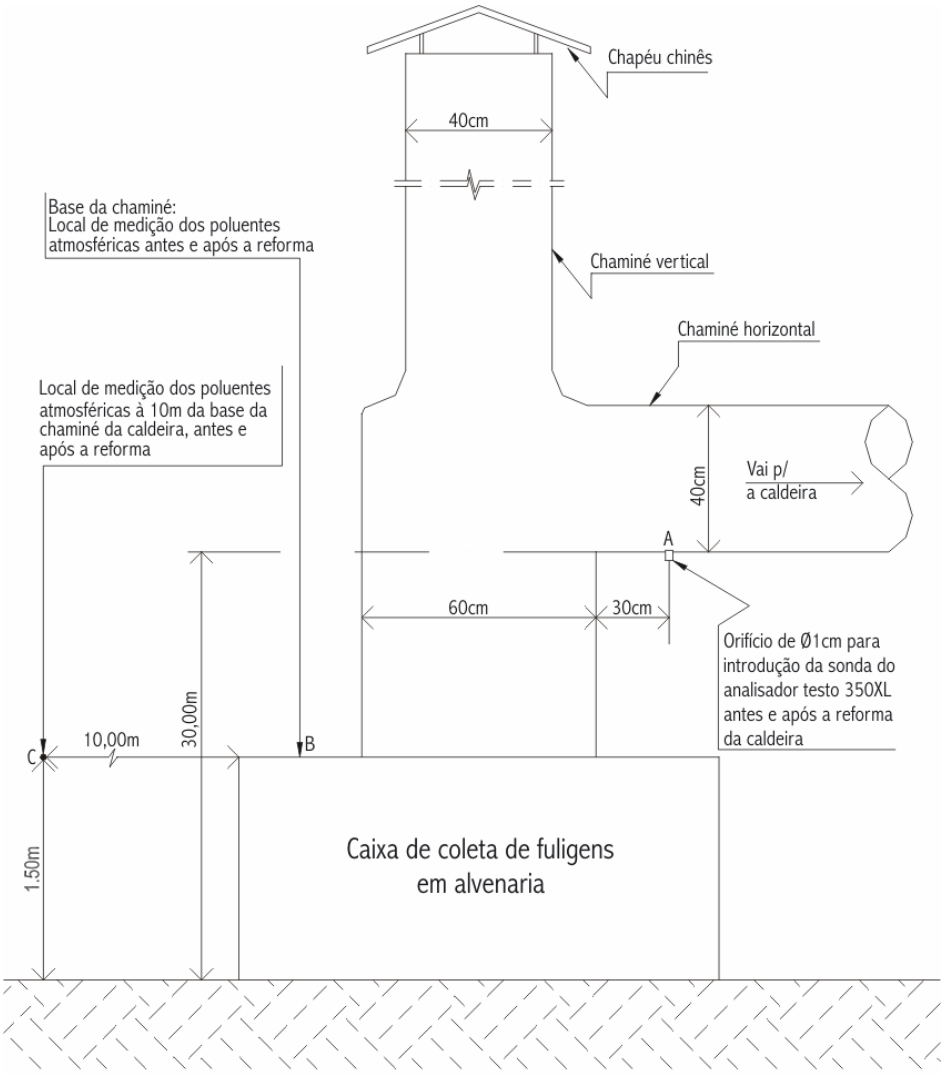
Figura 4.6 – Detalhe esquemático da seção transversal da chaminé com os pontos onde foram medidos as concentrações de poluentes atmosféricos.

Para avaliação dos poluentes atmosféricos, foram realizadas 30 medições antes da reforma da caldeira, sendo: 08 no período matutino, 13 em horário vespertino e 09 no período noturno, para que a média aritmética dos poluentes obtidos, representem o maior tempo possível do período de funcionamento da caldeira. Após a reforma da caldeira, foram novamente realizadas 30 medições sendo: 08 no período matutino, 14 no período vespertino e 10 no período noturno, adotando-se as mesmas metodologias realizadas antes da reforma da caldeira.

A partir dos valores obtidos, as concentrações dos poluentes atmosféricos e os níveis de ruídos sonoros foram comparados entre si, antes e após a reforma da caldeira e a seguir confrontados com os valores de concentrações máximos permitidos pela legislações nacionais e internacionais.

Nos dias em que foram realizadas duas medições, a primeira medição foi feita logo após a partida da caldeira e a segunda medição, momentos antes da caldeira entrar em regime “stand by”.

Quanto à medição dos níveis de ruídos gerados pela caldeira, foram feitas 10 medições antes da reforma e 10 medições após a reforma da caldeira.



A- Local de medição dos poluentes dentro da chaminé da caldeira.
B- Local de medição dos poluentes na base da chaminé da caldeira.
C- Local de medição dos poluentes a 10,00m da chaminé e a altura de 1,50m.

Figura 4.7 – Esquemático da chaminé da caldeira com locais onde foram realizadas as medições dos poluentes atmosféricos.

5 RESULTADOS

Foram realizadas 30 medições dos poluentes gasosos e 10 medições dos níveis de ruídos sonoros emitidos pela caldeira, antes e após a reforma.

5.1. Resultados antes da reforma da caldeira.

O quadro 5.1 e as figuras 5.1, 5.2, 5.3, 5.4 e 5.5, apresentam as concentrações de CO, CO_2, NO, NO_2 e NO_x, obtidos antes da reforma. Notam-se que os valores máximos e mínimos de CO observados, foram respectivamente 266,8 ppm no dia 25.11.03 às 19:54h e, 26,5 ppm no dia 26.11.03 às 10:45h. Os valores máximo e mínimo de CO_2 medido, foram 10,5% em 20.11.03 às 10:22h e 5,0% em 24.11.03 às 10:05h. Para o NO_x, o maior valor foi 369,0 ppm no dia 08.12.03, às 15:32h e também em 09.12.03 às 15:15h. O menor valor foi 248,7 ppm e ocorreu em 24.11.03 às 19:54h.

As concentrações de O_2 e H_2 apresentadas no quadro 5.1, não serão analisadas neste estudo, pois esses elementos não são considerados poluentes, porém cabe salientar, que o oxigênio (O_2) em concentrações próximas de 100% e por períodos de exposições longos, provocam envelhecimento precoce ao homem, pois sua ação oxidante ocasiona o surgimento de rugas na pele e, o hidrogênio (H_2) puro é altamente inflamável acarretando explosões.

A grande variação nos resultados obtidos, se deve provavelmente, a queima não uniforme do combustível, devido a não padronização da mistura ar-combustível, realizada por cada um dos cinco operadores da caldeira e a variação no consumo de vapor solicitado pelo hospital, no instante da medição.

Quadro 5.1 – Concentrações de poluentes lançados pela caldeira e condições atmosféricas antes da reforma da caldeira.

N	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
DATA	17.11.03	18.11.03	19.11.03	20.11.03	20.11.03	21.11.03	21.11.03	21.11.03	24.11.03	24.11.03	24.11.03	24.11.03	25.11.03	25.11.03	25.11.03	25.11.03	26.11.03	26.11.03	26.11.03	26.11.03	26.11.03	26.11.03	27.11.03	27.11.03	27.11.03	08.12.03	08.12.03	08.12.03	08.12.03	09.12.03
Horário	09:35	11:11	15:31	10:22	15:14	10:05	13:19	15:47	10:05	15:11	17:03	19:54	09:59	15:56	19:04	19:54	10:49	11:06	16:45	17:05	18:56	20:08	15:24	19:40	20:00	15:32	15:47	19:03	19:11	15:15
O_2(%)	7,0	3,4	8,0	2,5	2,7	4,7	3,8	9,7	7,0	6,5	6,1	11,2	6,9	6,7	7,6	11,5	7,8	6,2	5,5	5,6	7,6	10,8	3,5	11,2	12,5	8,7	7,5	4,2	9,7	8,7
H_2(ppm)	38,3	53,4	88,0	72,0	43,0	48,0	39,0	31,0	8,0	5,0	48,0	51,0	25,0	10,0	8,0	24,0	13,0	37,0	48,0	43,0	17,0	32,0	26,0	10,0	39,0	74,0	49,0	20,0	40,0	74,0
CO (ppm)	266,2	129,4	208,5	55,5	54,0	37,4	176,8	125,2	37,2	53,1	63,3	253,4	42,4	30,5	62,0	266,8	26,5	55,8	130,7	73,4	69,7	258,5	86,8	122,4	94,3	66,7	69,5	57,3	110,3	66,7
CO_2 (%)	8,0	9,7	7,4	10,5	10,3	9,3	9,8	6,4	5,0	8,2	8,4	5,6	8,0	8,1	7,6	5,4	7,5	8,4	8,8	8,6	7,6	5,8	9,9	5,5	4,8	6,9	7,6	9,3	6,4	6,9
NO (ppm)	290,9	317,6	304,8	298,2	301,0	277,6	280,5	314,7	288,7	290,8	287,2	247,4	289,7	293,3	264,5	255,7	291,1	281,8	289,5	288,4	293,9	266,6	289,3	266,2	271,8	367,3	330,7	355,5	314,2	367,3
NO_2 (ppm)	1,2	0,0	0,9	0,0	0,0	0,0	0,4	1,5	1,5	1,3	0,0	1,3	0,0	0,9	0,6	1,1	1,5	1,5	0,9	1,1	1,5	1,7	0,2	2,2	3,0	1,7	1,1	1,1	0,2	1,7
NO_x (ppm)	292,1	317,6	305,7	298,2	301,0	277,6	280,9	316,2	290,2	292,1	287,2	248,7	289,7	294,2	265,1	256,8	292,6	283,3	290,4	289,5	295,4	268,3	289,5	268,4	274,8	369,0	331,8	356,6	314,4	369,0
TF (ºC)	336,7	284,1	298,6	252,8	256,4	285,7	232,1	298,0	244,0	236,5	249,2	285,0	251,5	242,9	260,5	280,7	243,5	218,4	227,0	225,8	245,5	287,2	256,0	288,1	273,1	297,0	262,9	252,9	296,9	297,0
TA (ºC)	31,3	29,4	35,6	27,9	33,4	30,5	36,8	39,4	34,3	40,7	40,2	30,4	33,1	38,5	30,0	30,0	27,1	27,1	30,5	30,5	25,8	25,8	34,6	25,8	25,8	25,7	33,0	29,5	29,5	25,7
PO (ºC)	54,2	57,9	52,9	58,8	58,6	56,5	57,6	50,7	54,1	54,7	55,1	48,5	54,3	54,4	53,4	48,0	53,1	55,0	55,8	55,5	53,4	49,0	57,8	48,4	46,4	52,0	53,1	57,1	50,7	52,0
PA (mm Hg)	698,0	706,8	709,6	712,5	712,5	710,2	710,3	712,5	708,8	707,5	708,2	708,2	710,9	708,2	708,2	708,2	710,2	710,2	713,2	712,5	712,5	712,5	710,2	710,2	709,7	710,2	710,2	708,2	708,2	712,5
UR (%)	52,3	72,0	40,0	40,0	40,0	41,0	32,0	29,0	77,0	57,0	45,0	67,0	63,0	61,0	66,0	64,0	68,0	56,0	66,0	65,0	64,0	66,0	62,0	39,0	38,0	65,0	38,0	75,0	57,0	66,0

OBS: 1. A caldeira funciona em condições precárias, com baixo rendimento térmico e intensa emissão de particulado, conforme figuras 5.1 e 5.2..
2. As concentrações de O_2 e H_2 medidos pelo analisador Testo – 350 XL não serão estudadas pois as quantidades apresentadas, não são consideradas poluidoras de ar atmosférico.

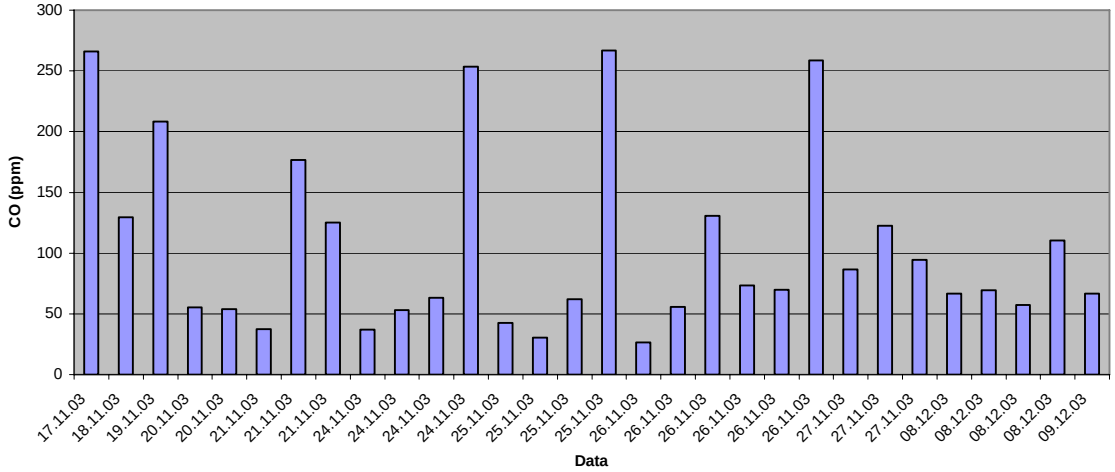


Figura 5.1– Concentrações de CO medido dentro da chaminé, antes da reforma da caldeira.

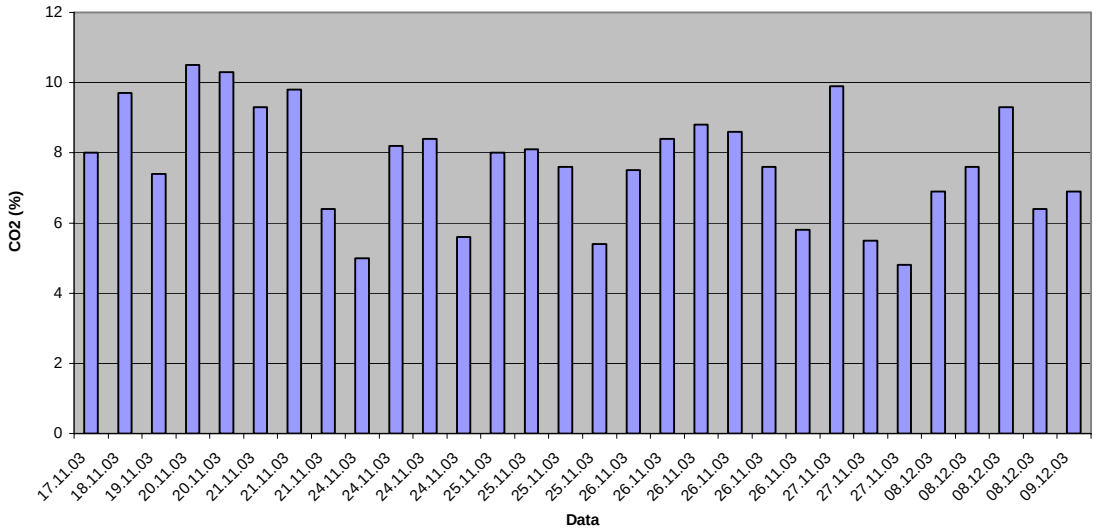


Figura 5.2 – Concentrações de CO_2 medido dentro da chaminé, antes da reforma.

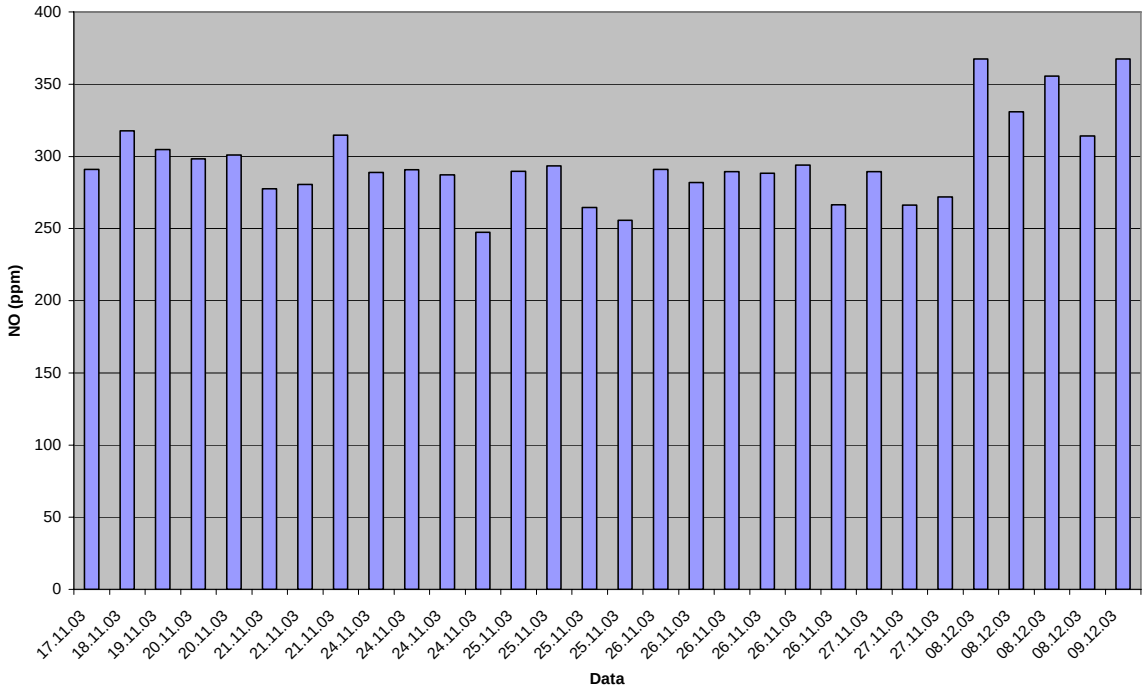


Figura 5.3 – Concentrações de NO medido dentro da chaminé, antes da reforma da caldeira.

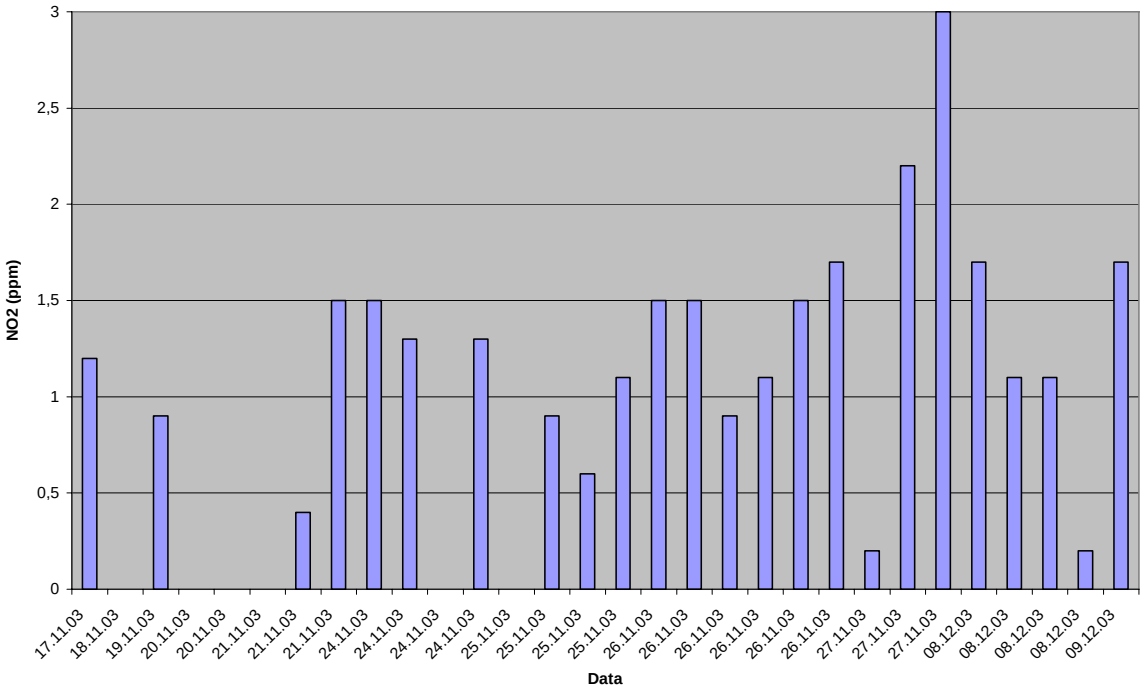


Figura 5.4 – Concentrações de NO_2 dentro da chaminé, antes da reforma da caldeira.

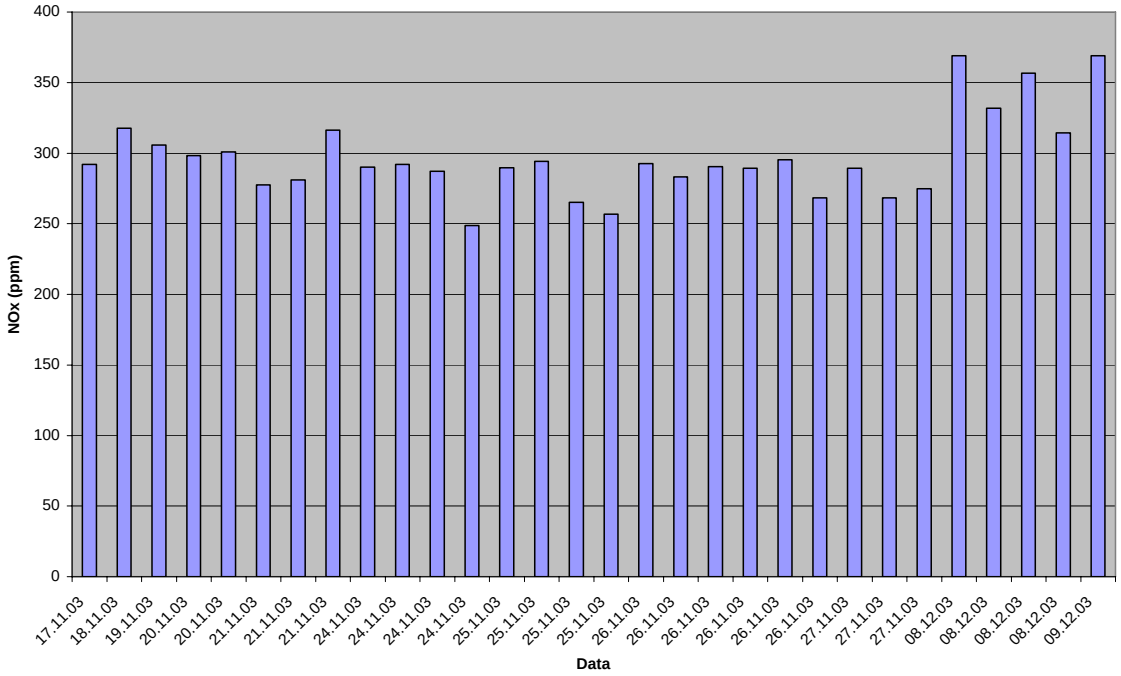


Figura 5.5 – Concentrações de NO_x dentro da chaminé, antes da reforma da caldeira.

O quadro 5.2, e as figuras 5.6 e 5.7, mostram os resultados das concentrações dos poluentes atmosféricos na base da chaminé da caldeira, antes de sua reforma.

O maior valor de CO observado, foi 9,7 ppm no dia 24.11.03 às 19:56h. Das 30 medições realizadas, 22 valores foram nulos . O valor máximo de NO avaliado, foi 31,9 ppm em 08.12.03 às 15:50h e a menor concentração medida, foi 0,1 ppm no dia 21.11.03 às 13:17h.

O quadro 5.3 e a figura 5.8, apresentam as concentrações de NO, a 10m da base da chaminé, antes da reforma da caldeira.

A concentração máxima de NO medido, foi 1,7 ppm em 08.12.03 às 19:14h e o menor valor obtido, foi 0,0 ppm em 21.11.03 às 13:19h.

Os fatores que, provavelmente, influenciaram na variação da concentração de NO, se deve a falta de padronização na mistura de ar-combustível, má dispersão do poluente gasoso, devido à ação dos ventos e a heterogeneidade na composição química do óleo combustível utilizado.

Quadro 5.2 – Concentrações de poluentes e condições atmosféricas na base da chaminé da caldeira, antes da reforma.

N	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
DATA	17.11.03	18.11.03	19.11.03	20.11.03	20.11.03	21.11.03	21.11.03	21.11.03	24.11.03	24.11.03	24.11.03	24.11.03	25.11.03	25.11.03	25.11.03	25.11.03	26.11.03	26.11.03	26.11.03	26.11.03	26.11.03	26.11.03	27.11.03	27.11.03	27.11.03	08.12.03	08.12.03	08.12.03	08.12.03	09.12.03
Horário	10:38	11:16	15:34	10:26	15:15	10:05	13:17	15:50	10:07	15:14	17:05	19:56	10:01	15:56	19:51	19:56	10:52	11:08	16:47	17:58	19:58	20:10	19:35	05:45	20:06	15:35	15:50	19:05	19:12	15:10
O_2(%)	21,0	21,1	20,7	20,9	20,8	20,9	20,9	20,4	20,9	20,6	20,9	20,6	21,0	21,0	20,8	21,0	21,0	21,0	21,0	21,0	21,1	20,8	21,0	20,4	20,7	20,8	19,3	20,4	21,0	20,6
H_2(ppm)	0,0	15,0	13,0	18,0	0,0	0,0	2,0	0,0	1,0	1,0	0,0	4,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	52,0	4,0	0,0	0,0	9,0	0,0	3,0	47,0	3,0	33,0	0,0	11,0	33,0
CO (ppm)	0,0	7,6	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	3,2	0,0	0,0	0,3	9,7	0,0	0,0	3,7	0,0	0,0	6,8	0,0	0,0	0,0	4,5	0,0	2,4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
NO (ppm)	2,4	2,0	4,2	1,0	2,5	2,4	0,1	14,2	1,8	1,2	1,9	13,1	2,7	1,4	7,3	2,2	1,2	3,8	1,7	1,9	1,9	9,2	0,6	2,1	0,9	1,5	31,9	18,3	3,8	12,0
TA (ºC)	34,0	29,4	35,6	27,9	33,4	28,9	36,8	39,4	34,3	40,7	40,2	30,4	33,1	38,5	30,0	30,0	27,1	27,1	30,5	25,8	25,8	25,8	25,8	25,8	25,8	33,0	33,0	29,5	29,5	25,7
PA (mm Hg)	707,5	706,5	709,6	710,0	712,5	710,3	710,3	710,3	708,8	707,5	708,2	708,2	710,9	707,4	708,2	708,2	710,2	710,2	713,2	712,5	712,5	712,5	710,2	710,2	709,7	710,2	708,2	708,2	708,2	712,5
UR (%)	49,0	70,0	26,0	39,0	38,0	43,0	36,0	28,0	62,0	43,0	45,0	67,0	60,0	46,0	64,0	53,0	60,0	55,0	66,0	64,0	64,0	66,0	40,0	43,0	37,0	49,0	37,0	62,0	43,0	69,0

OBS: 1. A emissão de CO_2 e NO_2 não foram detectadas pelo analisador Testo 350 XL.
2. As medições foram realizadas a altura de 1,5m.

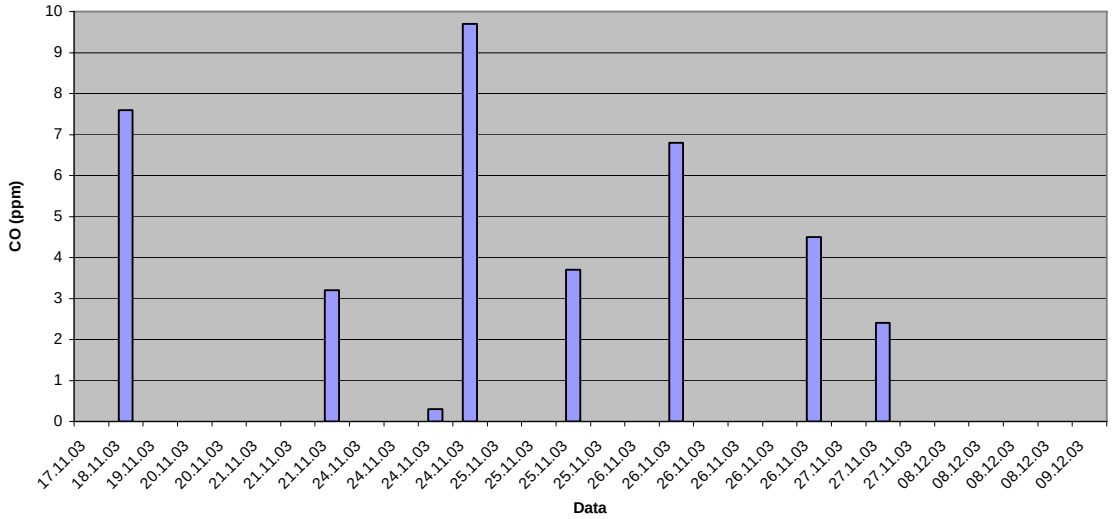


Figura 5.6 – Concentrações de CO medido na base da chaminé, antes da reforma da caldeira.

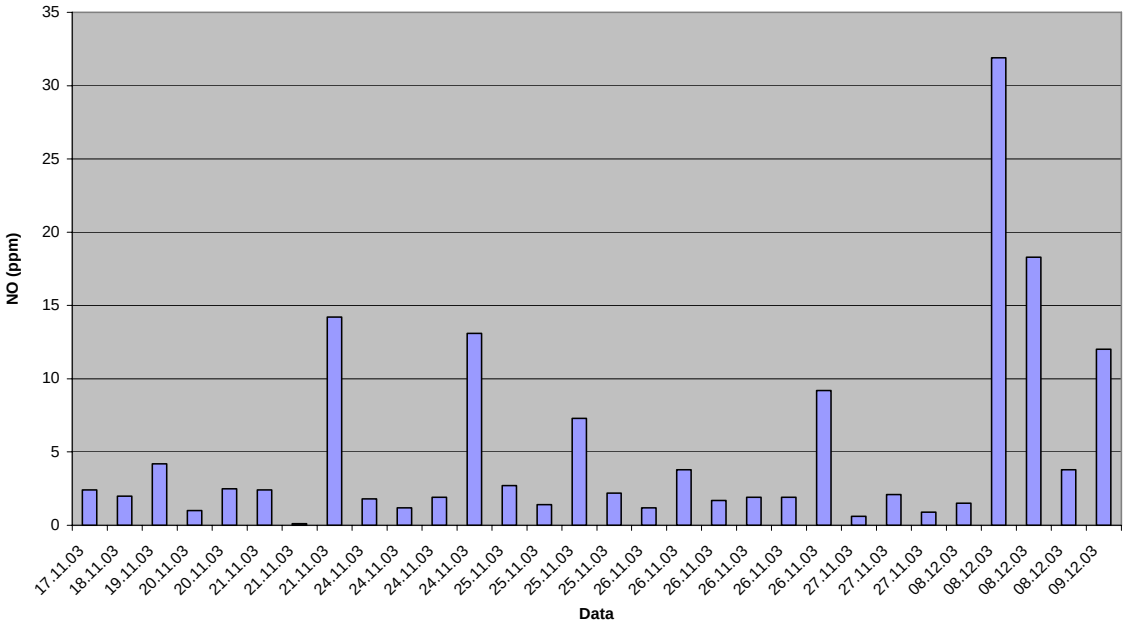


Figura 5.7 – Concentrações de NO na base da chaminé, antes da reforma da caldeira.

Quadro 5.3 – Concentrações de poluentes atmosféricos e condições atmosféricas à 10m da base da chaminé da caldeira, antes da reforma.

N	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
DATA	17.11.03	18.11.03	19.11.03	20.11.03	20.11.03	21.11.03	21.11.03	21.11.03	24.11.03	24.11.03	24.11.03	24.11.03	25.11.03	25.11.03	25.11.03	25.11.03	26.11.03	26.11.03	26.11.03	26.11.03	26.11.03	26.11.03	27.11.03	27.11.03	27.11.03	08.12.03	08.12.03	08.12.03	08.12.03	09.12.03
Horário	10:40	11:19	15:39	10:28	15:14	10:11	13:19	15:53	10:09	15:16	17:07	19:58	10:03	16:01	19:52	19:58	10:56	11:10	16:49	17:09	20:00	20:12	19:55	19:50	20:30	15:37	15:53	19:07	19:14	15:13
O_2(%)	21,1	21,1	20,9	21,0	20,9	21,0	20,9	20,9	21,0	20,5	21,0	21,0	21,1	21,0	21,0	21,0	21,1	21,1	21,1	21,1	21,0	21,1	21,0	21,0	21,0	20,8	21,0	21,0	21,0	21,0
H_2 (ppm)	0,0	15,0	38,0	34,0	0,0	0,0	3,0	0,0	7,0	5,0	3,0	0,0	4,0	0,0	0,0	0,0	5,0	45,0	4,0	27,0	0,0	9,0	28,0	24,0	67,0	16,0	48,0	4,0	13,0	40,0
NO (ppm)	1,2	1,1	0,6	0,4	0,8	1,1	0,0	0,6	0,6	0,5	0,9	0,6	1,3	0,7	0,9	0,9	0,6	0,8	0,9	1,0	0,8	1,2	0,2	0,3	1,0	0,9	1,1	1,3	1,7	1,4
TA (ºC)	30,7	29,4	35,6	27,9	33,4	28,9	36,8	39,4	34,3	40,7	40,2	30,4	33,1	38,5	30,0	30,0	27,1	27,1	30,5	30,5	25,8	25,8	25,0	25,8	25,8	33,0	33,0	29,5	29,5	25,7
PA (mm Hg)	763,5	762,7	765,8	768,9	768,9	766,6	766,6	768,9	765,0	763,5	764,3	708,2	710,9	707,4	708,2	708,2	710,2	710,2	713,2	712,5	712,5	710,2	710,2	710,2	710,2	710,2	708,2	708,2	708,2	712,5
UR (%)	48,0	66,0	28,0	43,0	33,0	43,0	33,0	29,0	52,0	37,0	37,0	67,0	53,0	39,0	48,0	46,0	55,0	54,0	62,0	62,0	61,0	55,0	54,0	47,0	54,0	42,0	33,0	54,0	37,0	66,0

OBS: 1. As emissões de CO, CO_2, e NO_2 não foram detectadas pelo analisador Testo 350 XL.
2. As medições foram realizadas a 1,5m do solo.

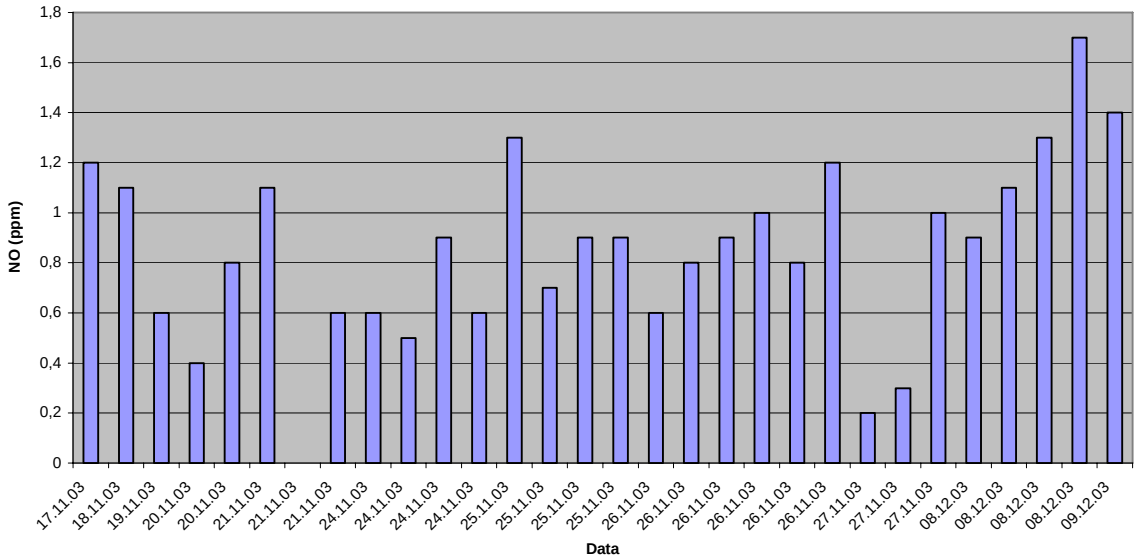


Figura 5.8 – Concentrações de NO a 10m da base da chaminé, antes da reforma da caldeira.

O quadro 5.4 e as figuras 5.9, 5.10, 5.11 e 5.12, apresentam os resultados das medições dos níveis médios de ruídos sonoros emitidos pela caldeira, antes da reforma.

Quadro 5.4 – Emissões de ruídos gerados pela caldeira antes da reforma.

N	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Data	18.11.03	19.11.03	20.11.03	21.11.03	24.11.03	25.11.03	26.11.03	27.11.03	08.12.03	09.12.03
Horário (h)	10:45	15:40	15:20	10:10	10:10	20:02	18:10	15:55	15:42	15:16
Distância(m)	Nível de ruídos (dB A) médio									
1	91,4	91,1	89,7	90,7	91,1	90,5	90,2	91,2	90,8	90,4
2	85,1	84,7	84,7	82,9	84,8	83,8	83,2	84,4	83,9	84,5
4	79,7	79,2	80,4	78,3	78,8	78,4	79,9	78,5	79,0	79,2
8	76,9	75,1	73,5	73,2	74,4	74,3	75,3	74,2	75,6	75,0

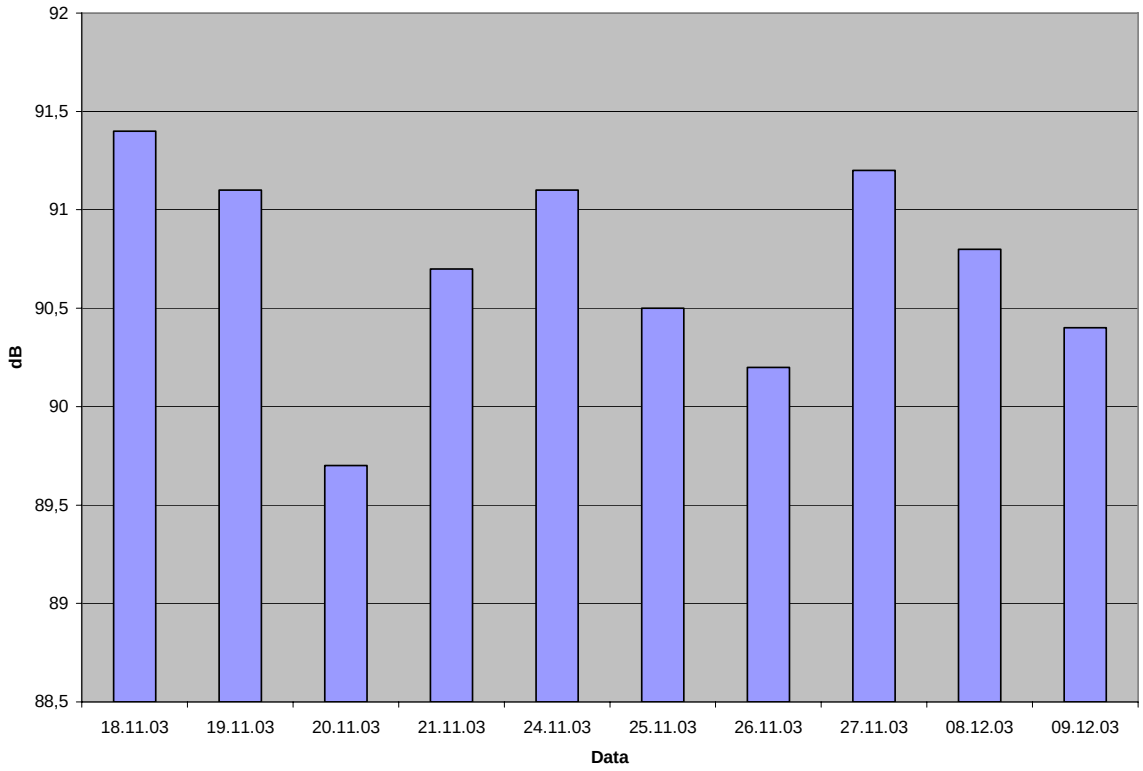


Figura 5.9 – Níveis de ruídos a 1m da caldeira antes da reforma.

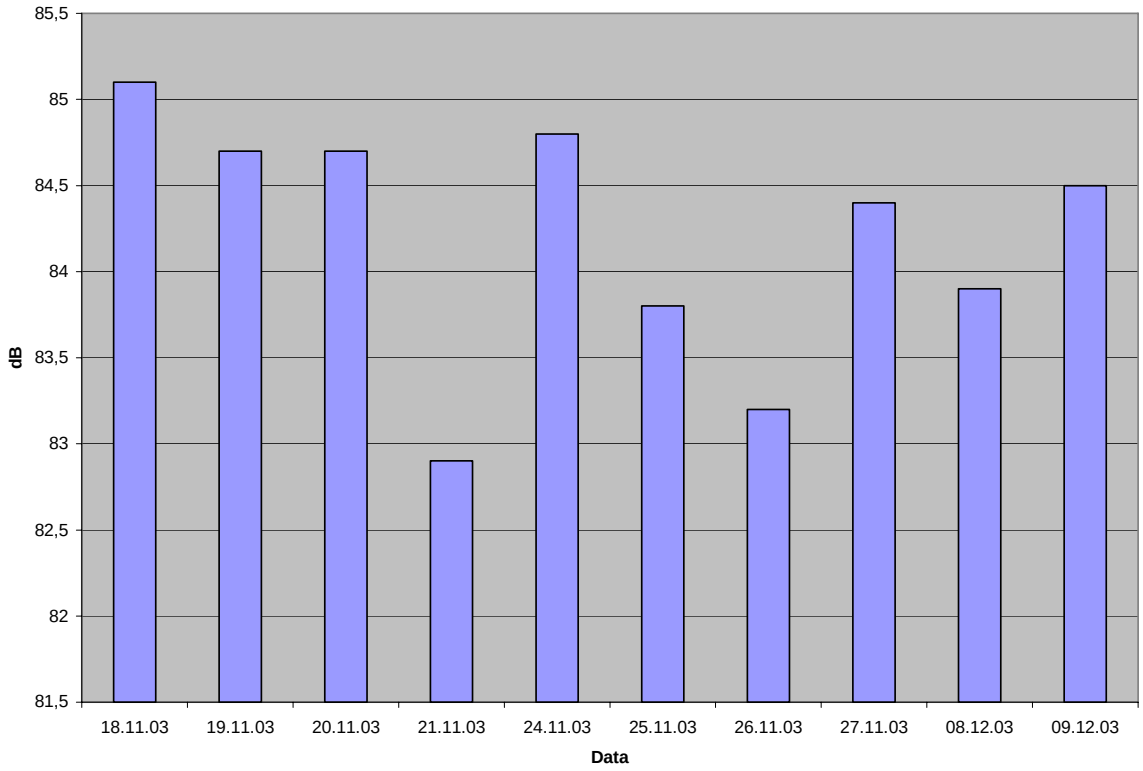


Figura 5.10 – Níveis de ruídos a 2m da caldeira, antes da reforma.

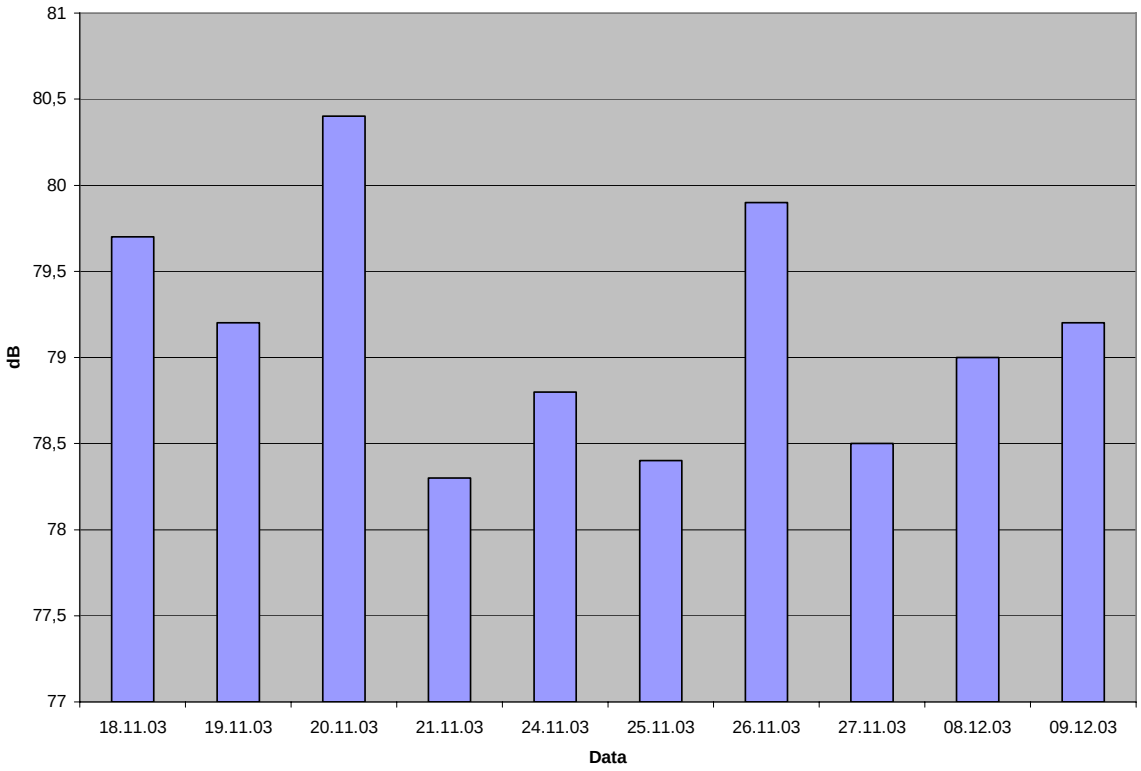


Figura 5.11 – Níveis de ruídos a 4m da caldeira, antes da reforma.

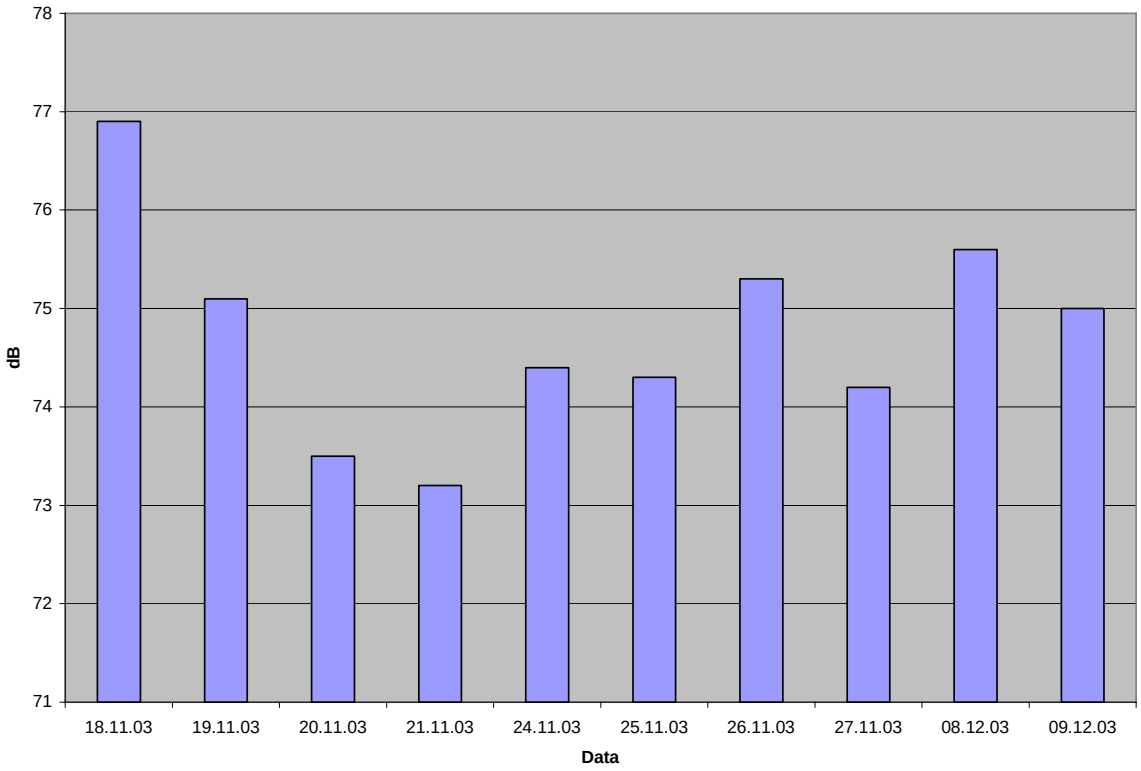


Figura 5.12 – Níveis de ruídos a 8m da caldeira, antes da reforma.

Notam-se, que os maiores e os menores níveis de ruídos sonoros registrados, foram respectivamente: a 1m da caldeira, 91,4 dB no dia 18.11.03 às 10:45h e 89,7 dB em 20.11.03 às 15:20h, a 2m da caldeira, de 85,1 dB em 18.11.03 às 10:45h e 82,9 dB em 21.11.03 às 10:10h, a 4m da caldeira, de 80,4 dB em 20.11.03 às 15:20h e 78,3 dB em 21.11.03 às 10:10h, e a 8m da caldeira, 76,9 dB em 18.11.03 às 10:45h e 73,2 dB em 21.11.03 às 10:10h.

5.2. Resultados após a reforma da caldeira

Após a realização da reforma da caldeira, repetiram-se novamente as 30 medições das concentrações dos poluentes atmosféricos e de ruídos sonoros.

No quadro 5.5 e nas figuras 5.13, 5.14, 5.15, 5.16 e 5.17, são observados que a maior concentração de CO encontrado, foi 117,2 ppm em 12.03.04 às 20:51h e o menor valor, foi 0,0 ppm em 09.03.04 às 09:39h. O maior e o menor valor de CO_2 foram 11,6% e 5,1% ocorridos, respectivamente, em 15.03.04 às 13:58h e em 09.03.04 às 09:29h. A emissão máxima de NO_x, foi 386,3 ppm em 19.03.04 às 10:55h e a mínima, foi 231,1 ppm em 16.03.04 às 20:32h.

No quadro 5.6 e nas figuras 5.18 e 5.19, têm-se os resultados das medidas das concentrações dos poluentes gasosos analisados na base da chaminé da caldeira, a altura de 1,5m, após a reforma.

Verificam-se, que o valor máximo de CO medido pelo analisador de poluentes atmosféricos, foi 0,7 ppm em 08.03.04 às 15:02h. Das 30 medições de CO realizadas, 27 medidas, foram 0,0 ppm. Os valores máximos e mínimos de NO observados na base da chaminé, foram 34,6ppm e 1,5ppm medidos, respectivamente, em 11.03.04 às 19:36h e em 09.03.04 às 09:32h.

Quadro 5.5 – Concentrações de poluentes atmosféricos lançados pela chaminé e condições atmosféricas após reforma da caldeira.

N	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
DATA	08.03.04	08.03.04	09.03.04	09.03.04	09.03.04	09.03.04	10.03.04	10.03.04	11.03.04	11.03.04	12.03.04	12.03.04	12.03.04	12.03.04	15.03.04	15.03.04	15.03.04	15.03.04	16.03.04	16.03.04	16.03.04	16.03.04	17.03.04	17.03.04	17.03.04	17.03.04	19.03.04	19.03.04	19.03.04	19.03.04
Horário	14:47	14:59	09:29	09:39	14:11	09:20	14:10	11:20	19:25	19:34	10:25	10:33	20:42	20:51	13:52	13:58	19:19	19:39	15:34	15:52	20:25	20:32	14:50	14:58	18:55	19:20	10:46	10:55	14:13	14:19
O_2(%)	11,4	10,2	12,0	4,3	10,2	10,1	10,3	10,1	11,2	11,1	10,3	10,7	11,3	11,7	9,8	0,5	1,8	9,8	9,7	9,6	8,1	9,1	8,1	8,6	9,5	8,9	9,6	1,8	8,2	8,6
H_2(ppm)	10,5	122,0	0,0	10,0	0,0	12,0	0,0	12,0	0,0	12,0	0,0	9,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	10,0	0,0	36,0	1,0	12,4	0,0	12,0	0,0	1,0	0,0	20,0	0,0	9,0
CO (ppm)	45,3	57,0	79,8	0,0	31,4	30,0	47,9	30,0	117,0	81,2	112,3	89,8	49,1	117,2	25,9	40,5	0,7	38,5	38,1	21,1	28,8	21,1	36,0	34,9	33,0	29,5	65,1	5,9	41,7	36,7
CO_2 (%)	5,4	6,1	5,1	9,5	6,1	6,2	6,1	6,2	5,5	5,6	6,1	5,8	5,5	5,3	6,4	11,6	10,9	6,3	6,4	6,4	7,3	6,7	7,3	7,0	6,5	6,8	6,4	10,9	7,3	6,9
NO (ppm)	312,0	290,0	294,7	352,2	299,6	299,7	297,7	299,7	299,2	299,4	291,8	306,7	291,4	297,6	318,6	312,5	350,9	295,0	302,1	325,5	321,5	231,1	325,8	327,4	318,3	316,4	306,2	386,3	318,3	318,7
NO_2 (ppm)	0,0	0,0	1,1	1,7	0,0	0,0	0,0	0,0	1,7	1,9	0,6	0,0	0,6	0,6	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,9	0,2	0,0	0,0	0,0	0,0
NO_x (ppm)	312,0	290,0	295,8	353,9	299,6	299,7	297,7	299,7	300,9	301,3	292,4	306,7	292,0	298,2	318,6	312,5	350,9	295,0	302,1	325,5	321,5	231,1	325,8	327,4	319,2	316,6	306,2	386,3	318,3	318,7
TF (ºC)	316,9	311,5	317,0	265,4	333,6	333,5	335,2	333,5	302,0	291,2	306,4	327,3	299,3	318,4	329,5	275,6	381,5	321,7	349,0	331,2	314,7	332,8	347,6	348,2	331,9	334,2	331,7	296,1	349,3	353,7
TA (ºC)	33,8	33,8	36,3	36,3	36,9	36,9	37,3	36,9	28,7	28,7	29,2	30,8	28,4	28,4	33,8	33,8	27,2	27,2	32,8	32,8	28,0	28,0	36,3	36,3	32,1	32,1	30,5	30,5	36,4	36,4
PO (ºC)	48,2	49,9	47,2	57,0	49,9	50,1	49,8	50,1	48,4	48,7	49,9	49,3	48,4	47,7	50,6	60,6	59,4	50,5	50,7	50,8	52,8	51,5	52,8	52,1	51,0	51,7	50,7	59,4	52,6	51,9
PA (mm Hg)	712,5	712,5	716,3	716,3	715,5	715,5	714,8	714,5	713,2	713,2	712,5	712,5	708,2	709,7	711,7	711,7	710,2	710,2	708,9	708,9	708,9	709,7	709,7	708,7	709,7	709,7	710,9	710,9	709,7	710,9
UR (%)	52,0	44,0	59,0	52,0	45,0	35,0	51,3	43,7	86,0	77,0	71,0	58,0	70,0	76,0	81,0	77,0	72,0	79,0	55,0	48,0	67,0	68,0	48,0	35,0	69,0	73,0	47,0	41,0	63,0	61,0

OBS: As concentrações de O_2 e H_2 medidos pelo analisador Testo – 350 XL não serão estudadas pois as quantidades apresentadas não são consideradas poluidores atmosféricos.

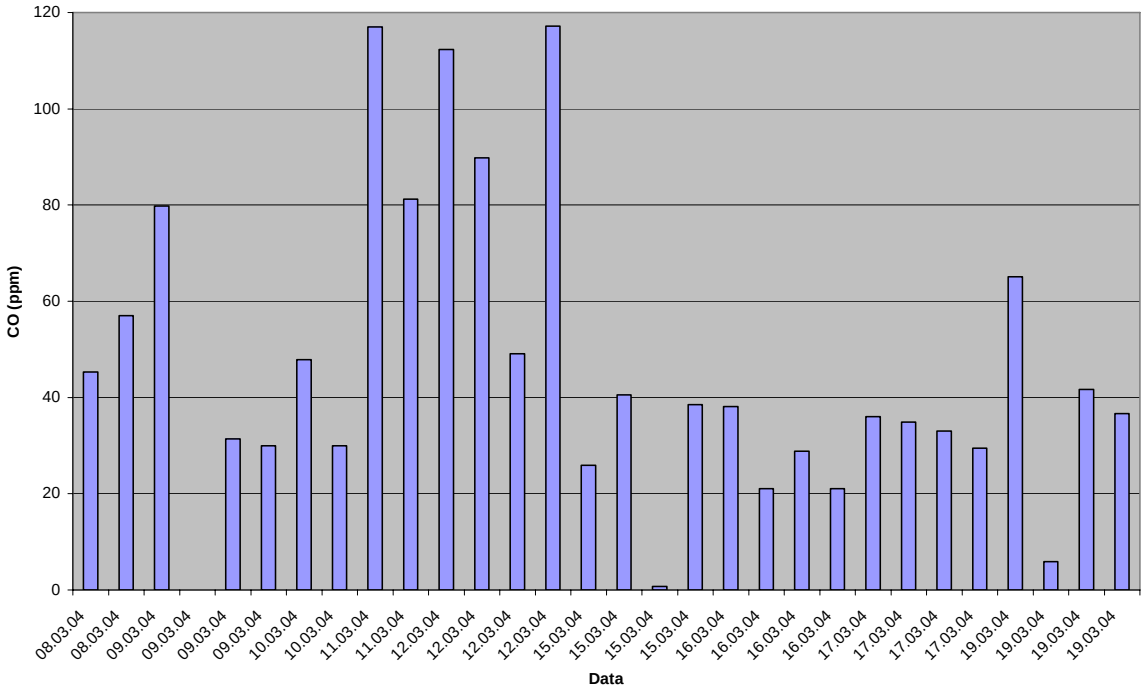


Figura 5.13 – Concentrações de CO dentro da chaminé, após a reforma da caldeira.

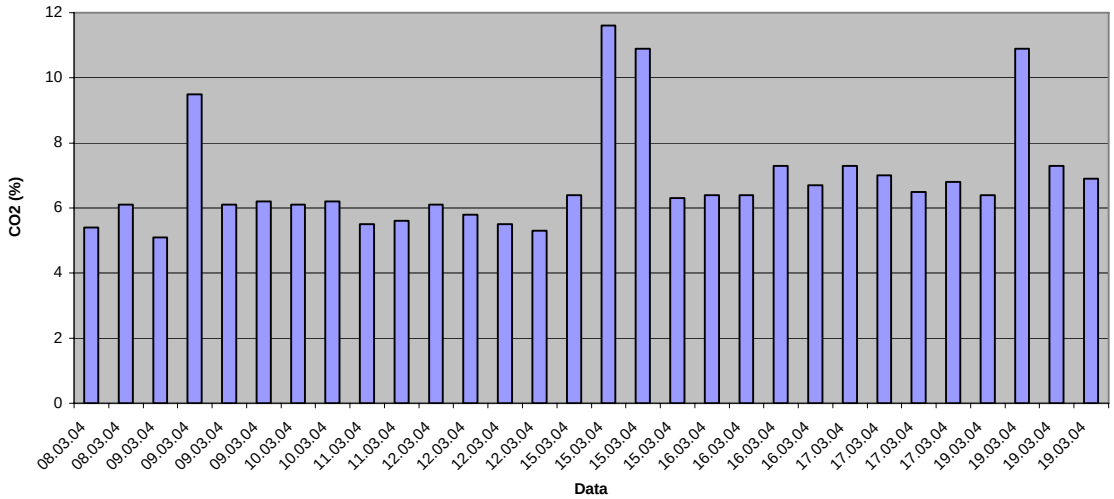


Figura 5.14 – Concentrações de CO_2 dentro da chaminé, após a reforma da caldeira.

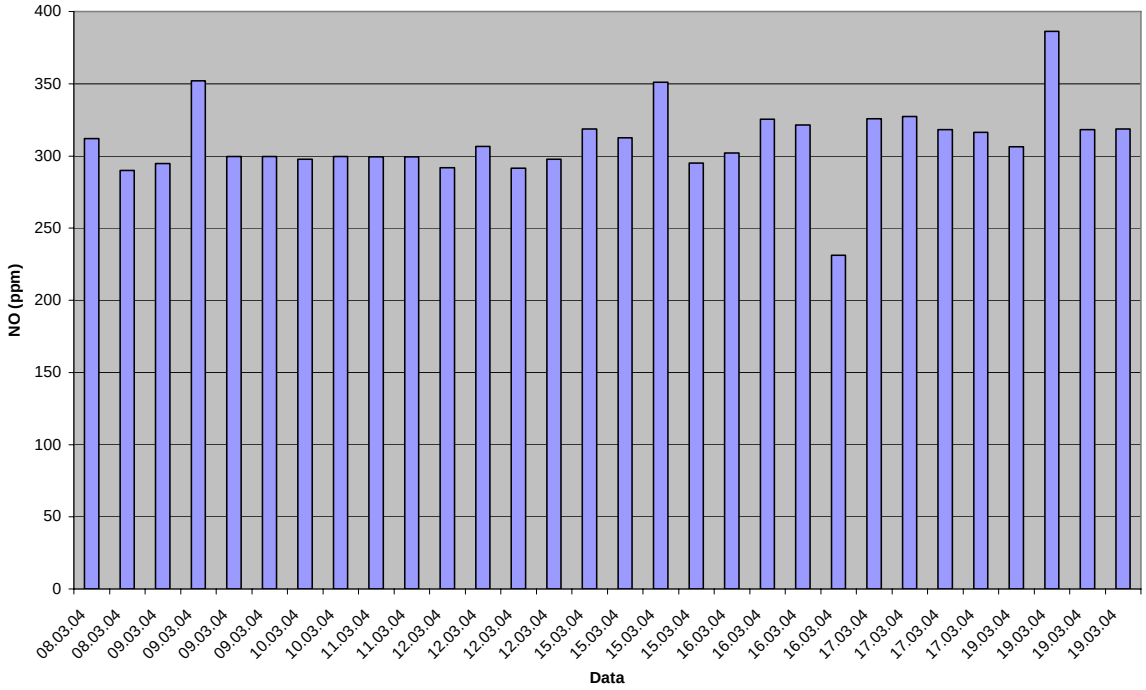


Figura 5.15 – Concentrações de NO dentro da chaminé, após a reforma da caldeira.

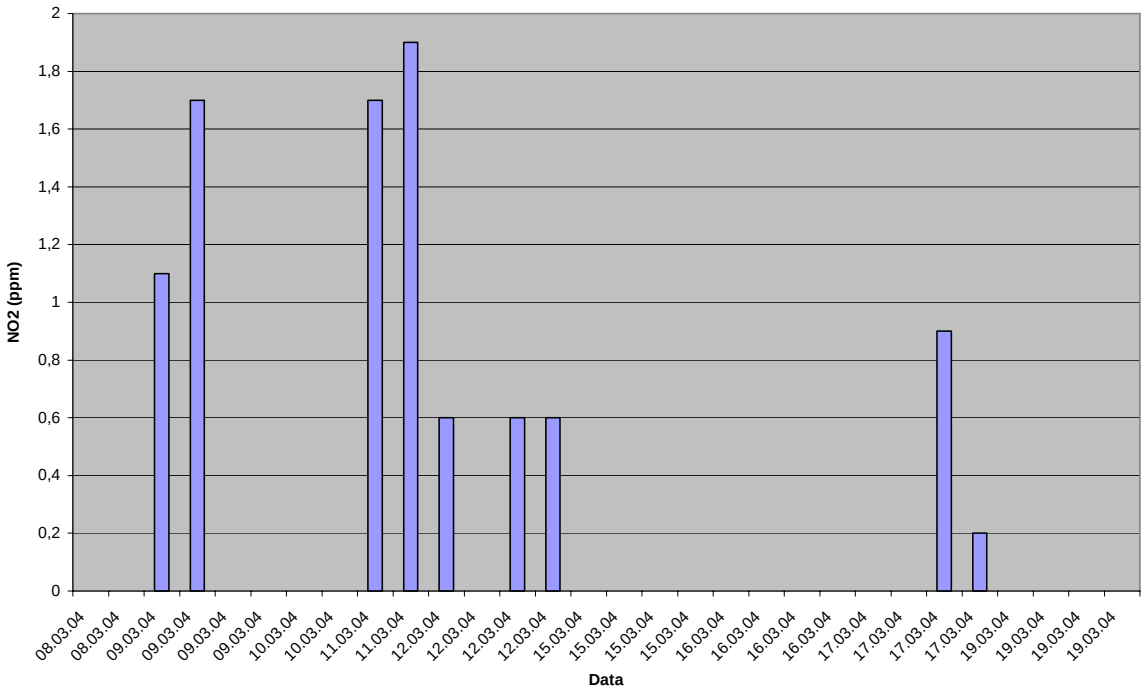


Figura 5.16– Concentrações de NO_2 dentro da chaminé, após a reforma da caldeira.

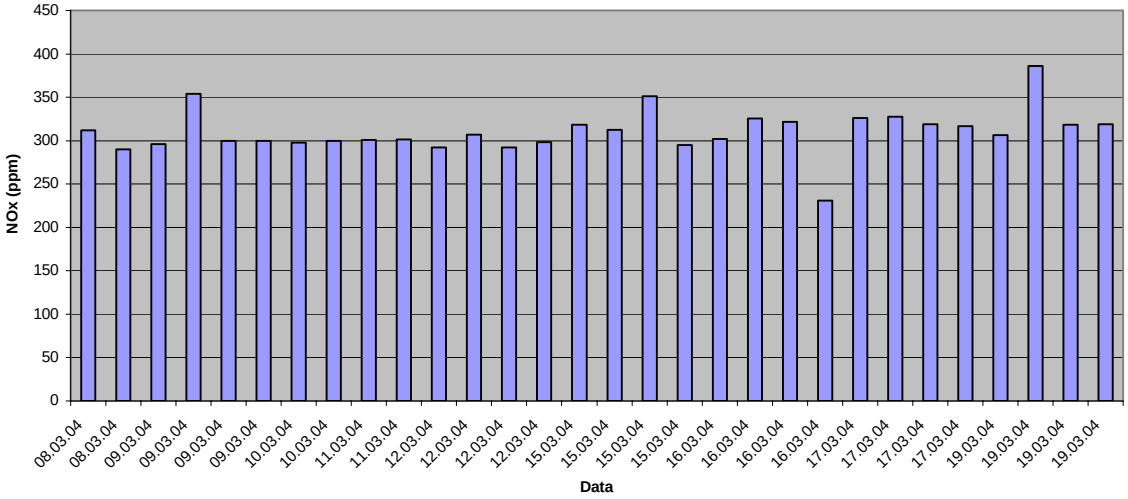


Figura 5.17 – Concentrações de NO_x dentro da chaminé, após a reforma da caldeira.

Quadro 5.6 – Concentrações de poluentes atmosféricos e condições atmosféricas na base da chaminé, após a reforma da caldeira.

N	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
DATA	08.03.04	08.03.04	09.03.04	09.03.04	09.03.04	09.03.04	10.03.04	10.03.04	11.03.04	11.03.04	12.03.04	12.03.04	12.03.04	12.03.04	15.03.04	15.03.04	15.03.04	15.03.04	16.03.04	16.03.04	16.03.04	16.03.04	17.03.04	17.03.04	17.03.04	17.03.04	19.03.04	19.03.04	19.03.04	19.03.04
Horário	14:36	15:02	09:32	09:40	09:11	14:22	09:11	14:18	19:28	19:36	10:26	10:34	20:43	20:52	13:54	14:04	19:33	19:40	15:36	15:53	20:26	20:33	14:51	14:59	18:57	19:14	10:47	11:54	14:14	14:21
O_2(%)	20,1	19,7	21,0	21,0	20,5	20,3	20,0	20,3	20,7	20,1	20,3	20,8	20,3	20,6	20,6	20,7	20,3	20,2	20,9	20,9	20,4	20,8	20,6	20,4	21,0	20,8	20,8	20,9	19,9	20,8
H_2(ppm)	73,0	35,0	2,0	15,0	6,0	18,0	6,0	24,0	17,0	22,0	7,0	27,0	3,0	15,0	5,0	26,0	8,0	15,0	4,0	44,0	5,0	9,0	5,0	19,0	2,0	7,0	8,0	26,0	3,0	15,0
CO (ppm)	0,0	0,7	0,0	0,0	0,0	0,0	0,6	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,6	0,0
NO (ppm)	12,9	28,0	1,5	1,7	17,6	25,4	27,2	16,3	13,9	34,6	20,0	8,9	19,6	15,7	10,2	7,0	20,5	34,2	3,6	3,7	19,6	8,3	10,3	15,2	10,1	10,6	7,1	5,2	29,1	7,2
TA (ºC)	33,8	33,8	36,3	36,3	36,9	36,9	37,3	37,3	28,7	28,7	29,2	29,2	28,4	28,4	33,8	33,8	27,2	27,2	32,8	32,8	28,0	28,0	36,3	36,3	32,1	32,1	30,5	30,5	36,4	36,4
PA (mm Hg)	711,7	712,5	716,3	716,3	715,5	715,5	714,8	714,0	713,2	713,2	712,5	712,5	708,2	709,7	711,7	711,7	710,2	710,2	708,9	708,9	708,9	710,9	709,7	709,7	709,7	709,7	710,9	710,9	709,7	710,9
UR (%)	42,0	50,0	53,0	43,0	45,0	33,0	63,0	52,0	74,0	56,0	66,0	75,0	75,0	61,0	65,0	51,0	75,0	79,0	54,0	53,0	67,0	68,0	46,0	36,0	70,0	72,0	51,0	40,0	54,0	46,0

OBS: 1. As emissões de CO, CO_2 e NO_2 não foram detectadas pelo analisador Testo – 350 XL.
2. As medições foram realizadas a 1,5m do solo.

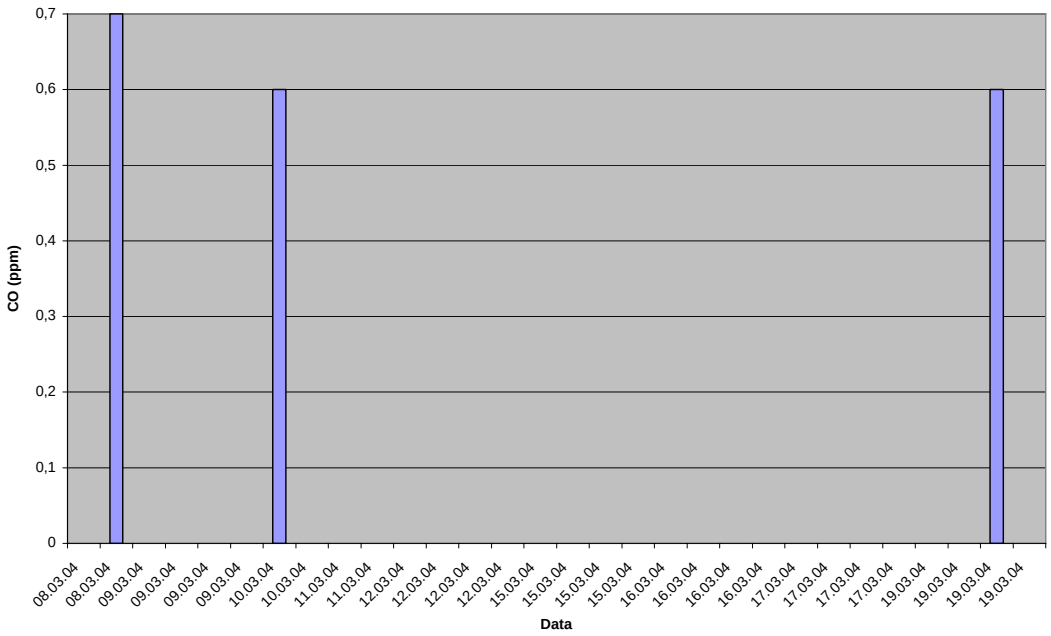


Figura 5.18 – Concentrações de CO na base da chaminé, após a reforma da caldeira.

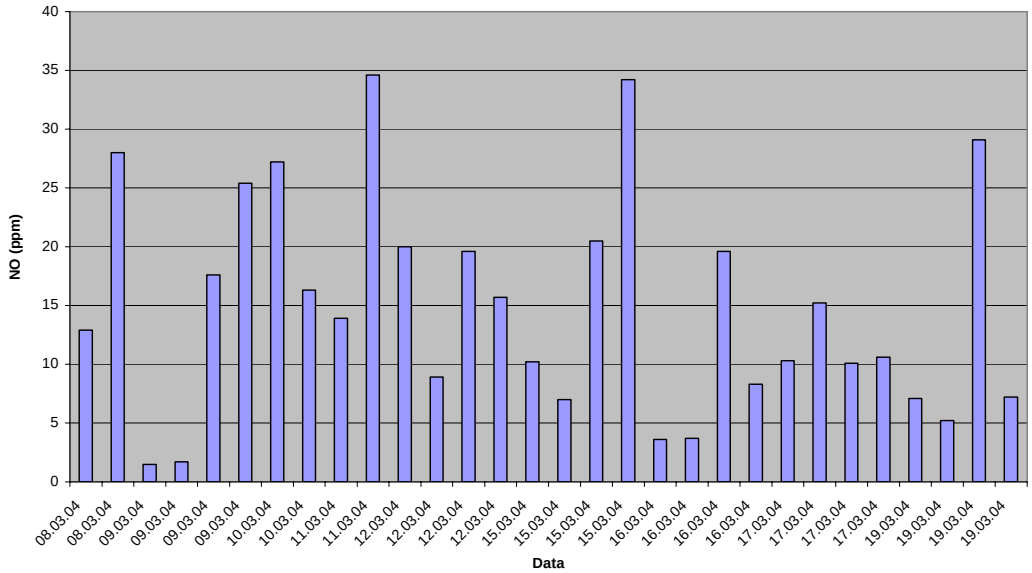


Figura 5.19 – Concentrações de NO na base da chaminé, após a reforma da caldeira.

O quadro 5.7 e a figura 5.20, mostram que o maior valor de NO medido a 10m da base da chaminé da caldeira e a altura de 1,5m, após a reforma, foi 2,2 ppm em 19.03.04 às 10:55h e o menor valor registrado, foi 0,0 ppm em 08.03.04 às 15:04h.

Quadro 5.7 – Concentrações de poluentes atmosféricos a 10m da base da chaminé e condições atmosféricas após reforma da caldeira

N	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
DATA	08.03.04	08.03.04	09.03.04	09.03.04	09.03.04	09.03.04	10.03.04	10.03.04	11.03.04	11.03.04	12.03.04	12.03.04	12.03.04	12.03.04	15.03.04	15.03.04	15.03.04	15.03.04	16.03.04	16.03.04	16.03.04	16.03.04	17.03.04	17.03.04	17.03.04	17.03.04	19.03.04	19.03.04	19.03.04	19.03.04
Horário	14:39	15:04	09:33	09:42	09:15	14:24	09:13	14:19	19:30	19:37	10:28	10:37	20:45	20:56	13:55	14:02	19:35	19:43	15:37	15:55	20:28	20:35	14:52	15:00	18:58	19:15	10:48	10:55	14:15	14:22
O_2(%)	20,5	21,2	21,1	21,0	21,0	21,1	20,8	20,8	21,1	21,1	21,0	21,0	21,0	21,1	21,0	20,9	21,1	21,1	21,0	21,0	21,0	21,1	21,0	20,9	21,1	21,0	21,0	20,9	21,0	21,0
H_2(ppm)	84,0	39,0	2,0	18,0	7,0	21,0	6,0	20,0	19,0	22,0	12,0	43,0	6,0	16,0	8,0	22,0	14,0	16,0	7,0	47,0	6,0	12,0	5,0	21,0	3,0	7,0	15,0	16,0	8,0	19,0
NO (ppm)	0,1	0,0	0,5	0,7	1,0	0,9	1,0	1,3	1,5	1,7	1,3	1,5	1,5	1,7	0,9	0,9	0,8	1,4	1,2	1,2	1,2	1,4	0,7	1,1	0,6	1,6	1,6	2,2	1,6	1,7
TA (ºC)	33,8	33,8	36,3	36,3	36,9	36,9	37,3	37,3	28,7	28,7	29,2	29,2	28,4	28,4	33,8	33,8	27,2	27,2	32,8	32,8	28,0	28,0	36,3	36,3	32,1	32,1	30,5	30,5	36,4	36,4
PA (mm Hg)	711,7	712,5	714,8	714,0	716,3	716,3	715,5	715,5	713,2	713,2	712,5	712,5	708,2	709,7	709,7	709,7	709,7	709,7	711,7	711,7	710,2	710,2	708,9	708,9	708,9	708,9	710,9	710,9	709,7	710,9
UR (%)	35,0	36,0	47,0	43,0	36,0	36,0	33,0	24,0	46,0	38,0	59,0	49,0	53,0	40,0	38,0	35,0	67,0	69,0	40,0	33,0	77,0	81,0	52,0	36,0	68,0	68,0	37,0	39,0	41,0	38,0

OBS: 1. As concentrações de CO, CO_2, e NO_2 não foram detectadas pelo analisador Testo – 350 XL,
2. As medidas foram realizadas a 1,5m do solo.

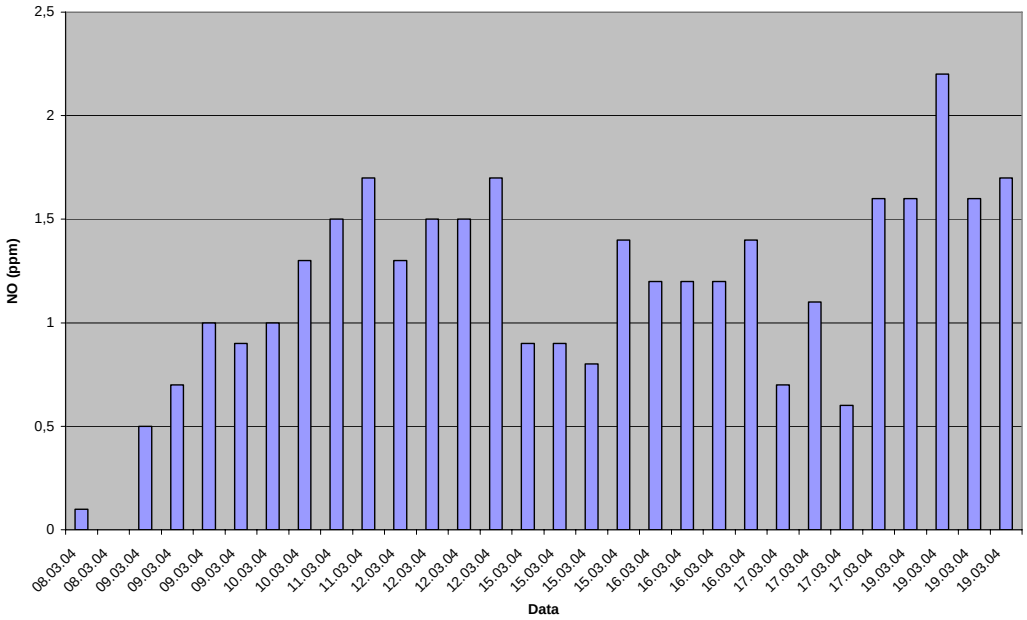


Figura 5.20 – Concentrações de NO a 10m da base da chaminé, após a reforma da caldeira.

A variação dos valores de NO obtidos é, provavelmente, oriunda dos seguintes fatores: mistura da quantidade de ar-combustível adotado por cada operador de caldeira, dispersão dos poluentes gasosos, devido a velocidade dos ventos no momento da medida, não homogeneidade na composição química do combustível utilizado e variação da demanda de vapor d'água solicitada pelo hospital.

O quadro 5.8 e as figuras 5.21, 5.22, 5.23 e 5.24, apresentam os níveis médios de ruídos acústicos emitidos pela caldeira, após a reforma.

Quadro 5.8 – Emissões de ruídos sonoros gerados pela caldeira após reforma.

N	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**	**9**	**10**
Data	08.03.04	09.03.04	11.03.04	12.03.04	15.03.04	16.03.04	17.03.04	19.03.04	19.03.04	19.03.04
Horário (h)	15:15	09:25	19:45	20:51	14:10	15:40	20:32	15:06	10:52	11:00
Distância (m)	Nível de ruídos dB (A) médio									
1	85,1	86,6	86,8	85,3	87,3	85,9	87,3	87,1	87,4	86,9
2	82,2	82,0	81,1	78,9	81,7	81,3	81,4	81,4	81,0	78,8
4	75,9	76,7	75,7	76,0	77,4	77,1	77,9	77,2	76,0	76,6
8	70,1	70,7	71,8	72,5	72,2	71,7	74,3	73,4	72,1	71,4

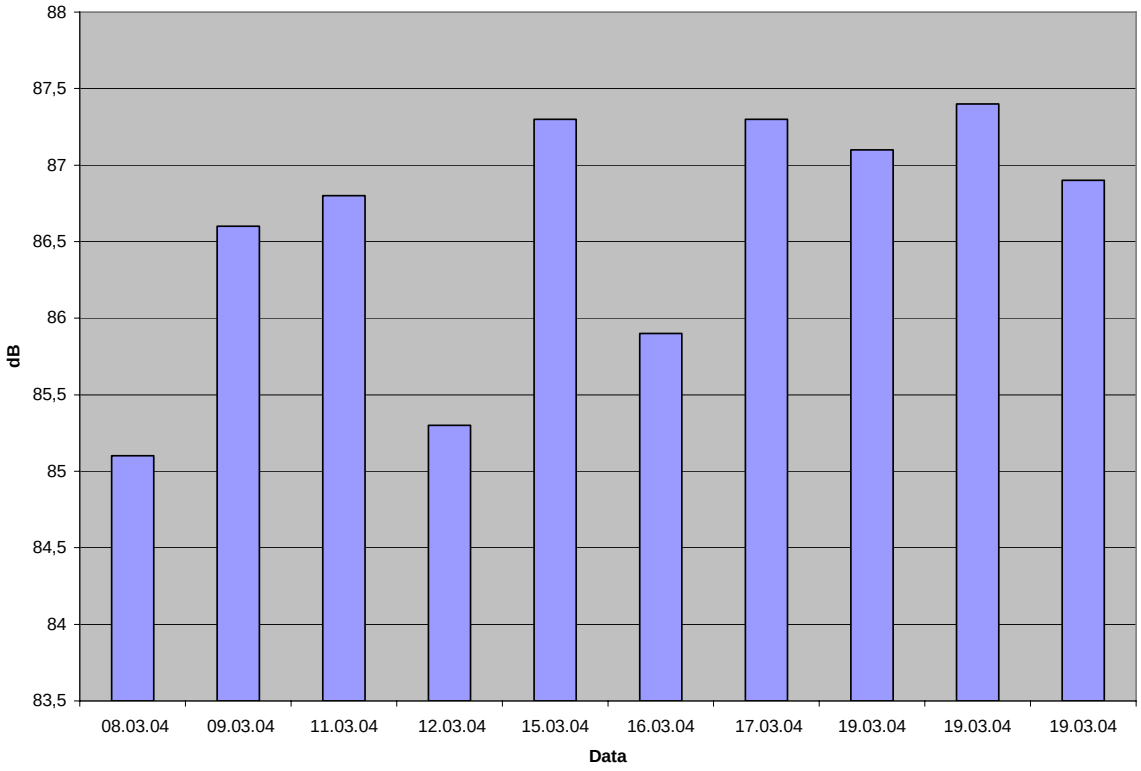


Figura 5.21 – Níveis de ruídos a 1m da caldeira após a reforma.

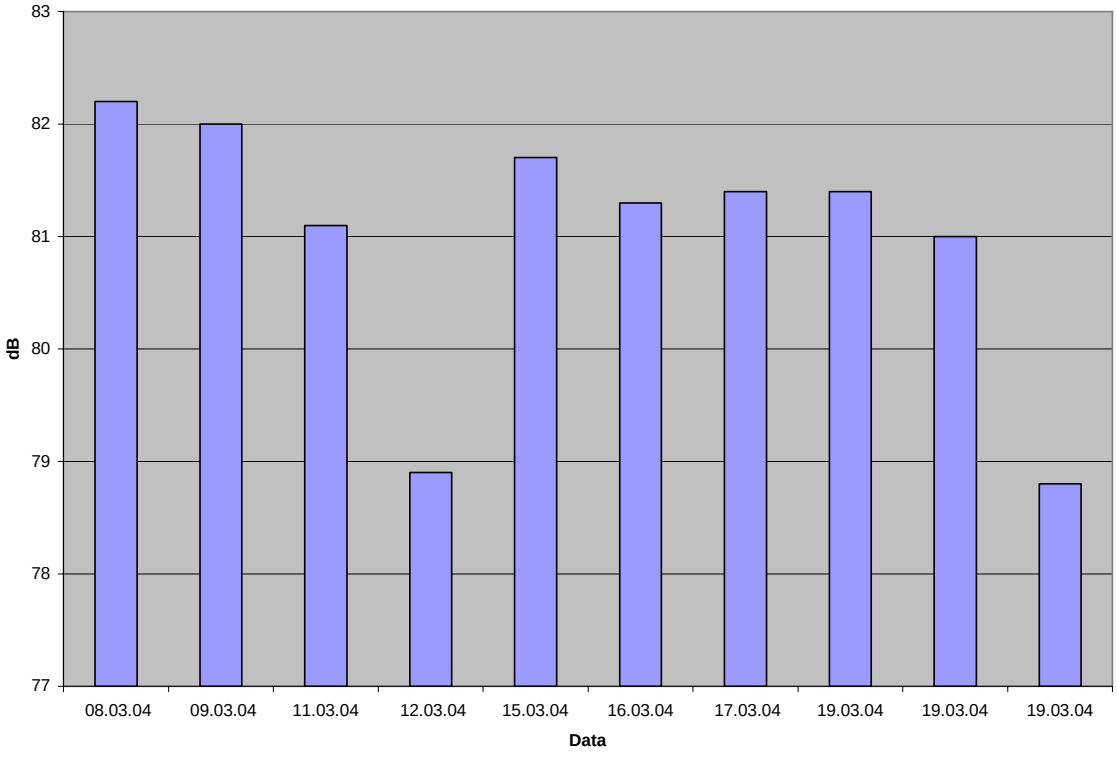


Figura 5.22 – Níveis de ruídos a 2m da caldeira, após a reforma.

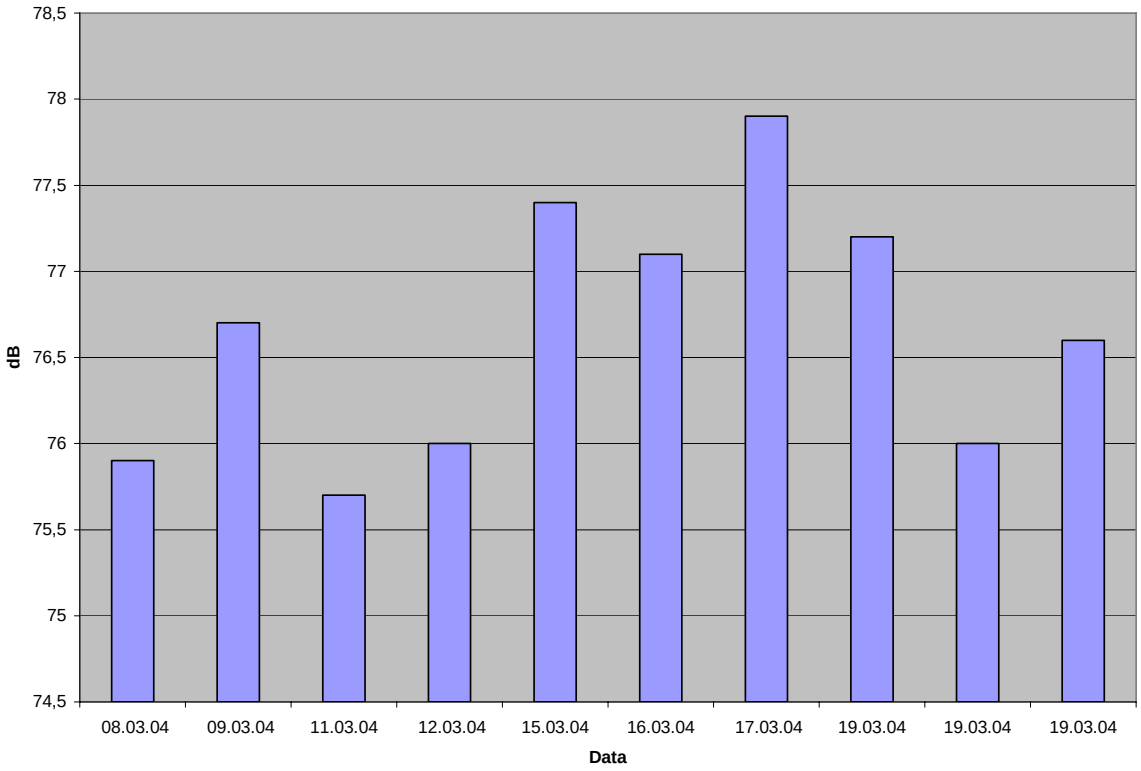


Figura 5.23 – Níveis de ruído a 4m da caldeira, após a reforma.

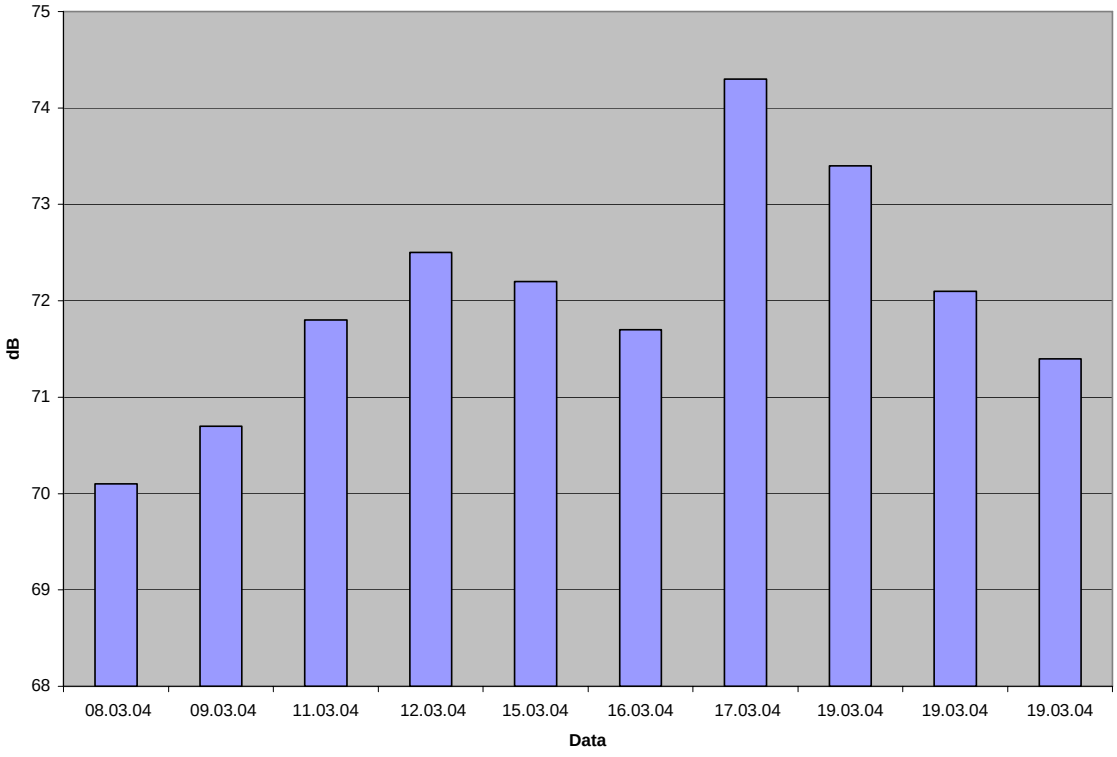


Figura 5.24 – Níveis de ruídos a 8m da caldeira, após a reforma.

Observam-se que após a reforma, o maior nível de ruído sonoro médio medido a 1m da caldeira, foi 87,4 dB em 19.03.04 às 10:52h, a 2m, foi de 82,2 dB em 08.03.04 às 15:15h, a 4m, foi 77,9 dB em 17.03.04 às 20:32h e a 8m, foi 74,3 dB em 17.03.04 às 20:32h. O menor ruído acústico verificado a 1m da caldeira, foi 85,1 dB em 08.03.04 às 15:15h, a 2m, foi 78,8 dB em 19.03.04 às 11:00h, a 4m, foi 75,7 dB em 11.03.04 às 19:45h e a 8m, foi 70,1 dB em 08.03.04 às 15:15h.

5.3. Comparação dos Poluentes Gasosos e Ruídos Sonoros antes e Após a Reforma

A seguir, serão avaliadas as concentrações dos poluentes atmosféricos medidos antes e após a reforma da caldeira.

O quadro 5.9, apresenta a comparação dos resultados correspondentes a média aritmética dos níveis de concentração dos poluentes lançados pela chaminé, antes e após a reforma da caldeira.

Quadro 5.9 – Média aritmética dos poluentes gasosos antes e após a caldeira ser reformada.

Elementos analisados	Antes da Reforma	Após a Reforma	Variação (%)
O_2 (%)	7,2	8,9	23,6
H_2 (ppm)	37,1	9,6	-74,1
CO (ppm)	105,0	46,2	-56,0
CO_2 (%)	7,7	6,9	-10,4
NO (ppm)	295,9	310,2	4,8
NO_2 (ppm)	1,0	0,3	-70,0
NO_x (ppm)	296,9	310,5	4,6
TF (ºC)	265,5	324,0	22,0
TA (ºC)	31,3	32,6	4,2
PO (ºC)	53,6	51,5	-3,9
PA (mmHg)	709,7	711,6	0,3
UR (%)	55,7	60,1	7,9

Obs: O sinal (-) indica que houve diminuição no valor medido

Observam-se, que as concentrações de CO, CO_2 e NO_2, diminuíram com a reforma, enquanto os valores de NO e NO_x, aumentaram.

O aumento na produção de NO e NO_x foram devidos ao ganho de 58,5 ºC na temperatura do gás lançado pela chaminé, que ocasionou o acréscimo de 13,6 ppm de NO_x, pois sabe-se que a produção de nitrogênio a partir da queima de óleo combustível é proporcional a temperatura de queima do óleo utilizado.

No quadro 5.10, mostra-se a média aritmética das concentrações dos poluentes analisados na base da chaminé da caldeira, a 1,5m do solo, antes e após a reforma da caldeira.

Quadro 5.10 – Média aritmética dos poluentes gasosos na base da chaminé, antes e após a reforma.

Elementos analisados	Antes da reforma	Após a reforma	Variação (%)
O (%)	20,8	20,5	-1,4
H_2 (ppm)	8,3	15,7	89,2
CO (ppm)	1,3	0,1	-92,3
NO (ppm)	5,0	14,8	204,0
TA (ºC)	31,1	32,5	4,5
PA (mm Hg)	709,8	711,6	2,5
UR (%)	50,8	57,2	12,6

Obs: 1. O sinal (-) indica que houve diminuição no valor médio.

2. A emissão de CO_2 e NO_2 não foram detectados pelo analisador Testo 350 XL.

Neste caso, percebe-se que após a reforma, a concentração de CO diminuiu, porém a de NO aumentou. O valor de CO diminuiu, devido a melhoria na queima do combustível, e a de NO aumentou, devido ao acréscimo na produção de nitrogênio, devido ao aumento de temperatura de combustão do óleo utilizado, precipitado na base da caldeira.

O quadro 5.11, apresenta a média aritmética da concentração dos poluentes gasosos a 10m da chaminé da caldeira e a 1,5m do solo, antes e após a reforma da caldeira. A explicação do aumento da concentração de NO, após a reforma, se deve ao aumento da quantidade de nitrogênio, devido ao acréscimo de temperatura na queima de óleo combustível e a má dispersão no ar do poluente gerado pela caldeira.

Quadro 5.11 – Média Aritmética dos poluentes gasosos medidos a 10m da chaminé da caldeira, a altura de 1,5m do solo, antes e após a reforma da caldeira.

Elementos analisados	Antes da reforma	Após a reforma	Variação (%)
O (%)	21,0	21,0	0,0
H_2 (ppm)	14,6	18,0	23,3
NO (ppm)	0,9	1,2	33,3
TA (ºC)	31,1	32,5	4,5
PA (mm Hg)	730,5	711,6	-2,6
UR (%)	47,9	46,5	-2,9

Nota: Os valores de CO, CO_2 e NO_2 não foram detectados pelo analisador de poluentes Testo 350 XL.

Nas figuras 5.25 e 5.26, observam-se a emissão de fumaça e material particulado, no momento da partida da caldeira, antes e após a reforma da mesma.

Figura 5.25 – Emissão de fumaça no momento de partida da caldeira, antes da reforma.

Figura 5.26 – Emissão de fumaça no momento de partida da caldeira, após a reforma

No instante em que a caldeira é ligada, nota-se que a quantidade de fumaça (particulado) lançada pela caldeira diminuiu bastante, após a reforma, devido a melhor queima de combustível utilizado. Percebeu-se também, que a quantidade de fumaça lançada no momento da partida da caldeira, depende do operador (caldeireiro), pois a mistura ar-combustível, é executada manualmente, onde cada operador adota o seu próprio método particular. É importante informar, que a quantidade de fumaça ocorreram apenas no momento de partida da caldeira, que dura em torno de 30 segundos. Após este período a caldeira trabalha em regime normal de funcionamento por, aproximadamente, 15 minutos para em seguida, entrar em regime “Stand-by” por 10 minutos, repetindo o ciclo sucessivamente.

O quadro 5.12, mostra a média aritmética dos níveis de ruídos sonoros produzidos pela caldeira, antes e após a reforma.

Após a reforma da caldeira, os níveis médios de ruídos sonoros gerados a 1m, 2m, 4m e 8m, diminuíram em 4,0 dB, 3,2 dB, 2,4 dB e 2,8 dB, respectivamente.

Quadro 5.12 – Níveis de ruídos emitidos pela caldeira antes e após a reforma geral da caldeira.

Distância (m)	Antes da reforma		Após a reforma		Atenuação após a reforma em dB (A)	Variação percentual em dina/cm^2 após a reforma
	dB (A)	dina/cm^2	dB (A)	dina/cm^2		
1	90,7	$2,3x10^5$	86,7	$9,3x10^4$	4,0	-59,6
2	84,2	$5,2x10^4$	81,0	$2,5x10^4$	3,2	-51,9
4	79,1	$1,6x10^4$	76,7	$9,3x10^3$	2,4	-41,9
8	74,8	$6,0x10^3$	72,0	$3,2x10^3$	2,8	-46,7

6 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

6.1 Conclusões

Conclui-se, que a média aritmética da concentração de NO_x, lançada pela chaminé, após a reforma da caldeira, aumentou de 296,9 ppm para 310,5 ppm, pois a média aritmética da temperatura dos gases lançados pela chaminé cresceu de 265,5 ºC para 324,0 ºC. Segundo o BANCO DE DADOS AMERICADO – WORLD BANK (1998), que limita em 300 mg/Nm^3 (370 ppm), o valor máximo de NO_x lançados por usinas termelétricas convencionais à óleo combustível, conclui-se, que tanto antes como após a reforma da caldeira, os valores obtidos estão abaixo dos permitidos pela legislação americana.

Na base da chaminé a média aritmética da concentração de CO, após a reforma, diminuiu de 1,3 ppm para 0,1 ppm. De acordo com o CONAMA – RESOLUÇÃO 3 (1990) e a Agência de Proteção Ambiental Americana – EPA – NAAQS (1996) que fixam a concentração máxima a de CO em 35,0 ppm nos locais públicos, conclui-se, que a concentração do poluente medido, antes e após a reforma da caldeira, estão em conformidade com os valores máximos estipulados pelo órgão reguladores ambientais. Segundo CETESB (1998), na base da caldeira, tanto antes como após a reforma, o ar ambiente é classificado como sendo de boa qualidade, atendendo o padrão CONAMA 3 (1990).

A média aritmética de NO na base da chaminé, após a reforma aumentou de 5,0 ppm para 14,8 ppm. A 10 m da base da chaminé da caldeira, após a reforma a concentração média de NO aumentou de 0,9 ppm para 1,2 ppm. Comparando com LORA (2000), que estabelece em 0,05 ppm o valor máximo de NO permitido em locais públicos, conclui-se, que na base da caldeira e a 10m dela, antes e após a reforma, o ar ambiente é considerado poluído, sendo nocivo à saúde e ao bem estar do homem.

A emissão de ruídos acústicos gerados a 1m da caldeira, após a reforma decresceu de 90,7 dB para 86,7 dB. Segundo o Ministério do Trabalho e

Previdência Social – MTPS (2003), o limite para 6 horas de exposição contínua a ruídos sonoros é 87,0 dB. Conclui-se, que a média aritmética das medidas realizadas, antes da reforma, estavam acima dos valores permitidos pela legislação e após a reforma, ficaram abaixo do estipulado pelo órgão regulador.

Este estudo revelou que a reforma da caldeira acarretou como benefícios, um ganho de 22,0% na temperatura de combustão do óleo combustível e decréscimos de 56,0% na produção de CO, 10,4% de CO_2, 70,0% de NO_2, 59,6% de ruído sonoro a 1m de distância e de material particulado, porém como prejuízo ao meio ambiente passou a emitir mais 4,8% de NO e 4,8% de NO_x.

O estudo de poluentes atmosféricos e de ruídos sonoros produzidos por uma caldeira flamotubular a óleo combustível BPF-2A, não foi esgotado com a apresentação deste trabalho, mas certamente, poderá contribuir como objetos de estudos de outros projetos de geradores de energia a combustíveis fósseis.

O Hospital Universitário está aguardando a doação de uma caldeira a gás natural, prometida pelo Governo do Estado. O convênio para abastecimento de gás natural boliviano ao Hospital Universitário foi firmado em 2003, entre a UFMS e a empresa MS GÁS. Substituir a caldeira óleo combustível BPF – 2A por gás natural é uma alternativa interessante, por ser um energético que produz menos impacto ambiental, pelo fato de queimar com muito mais facilidade, com elevado rendimento, além de produzir menores níveis de ruídos sonoros.

6.2 Recomendações

A fim de melhorar a eficiência da caldeira, minimizando o impacto ambiental, ressalta-se que devem ser desenvolvidos esforços adicionais no controle da poluição atmosférica, adotando como estratégia a exigência de medidas baseadas na melhor tecnologia de controle, visando reduzir os níveis de poluição nas áreas tidas como saturadas, em relação aos padrões de qualidade do ar.

A seguir, serão citadas algumas recomendações observadas, que poderão constituir um parâmetro de competitividade para atender a crescente demanda por tecnologias de produção mais limpa e uma necessidade de adequação aos mecanismos reguladores:

- É importante a manutenção da caldeira, pois irá resultar na melhoria do rendimento e diminuição nos níveis de emissão de CO, CO_2, NO_2 e ruídos sonoros.

- Substituição do óleo combustível por gás natural que irá reduzir a emissão de poluentes atmosféricos tais como: CO, CO_2, fumaça, material particulado e ruídos, pois é sabido que o gás natural queima com maior facilidade, gerando maior poder energético com baixos níveis de ruídos.

- Instalação de misturador ar-combustível automático substituindo o misturador manual existente, a fim de se obter uma queima mais uniforme e padronizada.

- Providenciar a instalação de equipamentos que removam os íons de cálcio e magnésio da água utilizada pela caldeira, por processos de deionização ou de osmose reversa, para reter o carbonato de cálcio que impregna as paredes externas dos tubos de fogo da caldeira, aumentando sua eficiência, o período de reforma e manutenção.

- Ministrar cursos de reciclagem aos operadores da caldeira, visto que, durante as medições realizadas, foram verificadas grandes variações na emissão dos poluentes gasosos, dependendo da mistura ar-combustível realizada manualmente por cada caldeireiro, devendo para tal, adotar um padrão de partida para a caldeira.

- Instalar filtro de material particulado na chaminé da caldeira, a fim de reduzir a emissão de fumaça, reduzindo assim, a poluição visual e materiais particulados em suspensão.

- Realizar um estudo de emissão de poluentes atmosféricos ao longo de um ano, a fim de estudar a influência da sazonalidade anual, relacionadas com as estações primavera, verão, outono e inverno.

- Avaliar a emissão de material particulado e sua composição, aplicando o método do Amostrador de Grandes Volumes.

- Aplicar modelos matemáticos a fim de saber, até que distância da caldeira, ocorre impacto ambiental, devido a emissão dos poluentes gasosos.

7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ABNT**: Norma da NBR – 10152 de dezembro de 1987,** define os **níveis de ruídos compatíveis com o conforto acústico em diversos ambientes**.

2. ABNT-NR13**: Norma regulamentadora n° 13. Legislação sobre caldeiras em vigor,** aprovada pela portaria 3214/79 do Ministério do Trabalho, alterada pela portaria 23 de 27/12/94, republicada em 26/04/95.

3. ALVES, F. **Cubatão: Soluções pendentes.** Editorial. Saneamento Ambiental, n°38. Abril/maio. 1996.p.3.

4. AMBIENTE GLOBAL. **Meio ambiente e as diversas formas de poluição.** Disponível em <http://www.ge...py/9399/Ambiente Global/intro.html>. Acesso em março de 2003.

5. ANSI 51.4 – American National Standards Institute. Estabelece **normas de especificação de decibelímetro**.

6. AMBIENTE GLOBAL. **Smog Fotoquímico**. Disponível em <http://AmbienteGlobal/air/gases.html>. Acesso em março de 2003.

7. ARRUDA, J.J.A. **História moderna e contemporânea.** 8 ed. São Paulo/SP: Ática, 1977.p.119-128.

8. BRASIL. CONAMA. Resolução n° 3 de 28/06/90. Dispõe o **estabelecimento dos padrões nacionais de qualidade do ar**, com base na Portaria Normativa n° 348, de 14/03/90. IBAMA.

9. BRASIL. CONAMA. Resolução n° 1 de 08/03/90. Estabelece **normas sobre a emissão de ruídos em decorrência de quaisquer atividades**.

10. BRASIL. CNP – CONSELHO NACIONAL DO PETRÓLEO. Resolução nº 09/82 – revisada em 03/86. Dispõe sobre as **características dos óleos combustíveis no Brasil**.

11. BRASIL. Decreto Estadual n° 8.468 de 08/09/76. Dispõe **os Padrões de Qualidade do ar para o Estado de São Paulo**.

12. BRASIL. Lei Federal n ° 6.938, de agosto de 1981. Dispõe sobre **Política Nacional e Meio Ambiente.** Art.3, inciso IV.

13. BRITO, C. Cubatão: **Poluição diminui mas ainda há muito o que fazer**. Saneamento Ambiental, nº 8, abril/maio. 1996. P. 10-15.

14. CALINESW (2003) – Departamento de Transporte do Estado da Califórnia – USA – Disponível em <http://www.dot.ca.gov/hq/env/air/calinesw.htm>. Acesso em 29 Abril 2004.

15. CASTRO, N. C.; SETTI, A. A.; GIORGONIO, A. S.; FARIA, S. C. **A Questão Ambiental e as Empresas**. SEBRAE. Brasília/DF. ISBN: 85-7333-163-1. 1998 P. 51-70.

16. CETESB (1998) – Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental – **Relatório de Qualidade do ar no Estado de São Paulo.** Disponível em <http://www.cetesb.sp.gov.br/Ar/ar_boletim.asp>. Acesso em 29 Abril 2004.

17. DERISIO, J.C. (1992) **Introdução ao controle ambiental.** in LORA, E. S. Prevenção e Controle da Poluição nos setores energético, industrial e de Transporte. Brasília/DF. ANEEL. p .239.

18. EMC (CE) – Eletromagnetic Compatibility (European Community). Estabelece **normas de segurança de equipamentos elétricos eletrônicos.**

19. EPA-NAAQS (1996). **Environment Protection Agency – National Ambient Air Quality Standards**. in LORA, E. S. Prevenção e Controle da Poluição nos setores energético, Industrial e de Transporte. Brasília/DF. ANEEL. p. 240.

20. EPA – US (1976) **US Environmental Protection Agency**. **About Sound.** Washington, D.C., US EPA. in Mota, S. Introdução à Engenharia Ambiental. Rio de Janeiro: ABES. p.168.

21. FREEDMAN, B. (1995) – Environmental Ecology. **The Ecological Effects of Pollution, Disturbance and other Stress.** San Diego, Texas, academic Press. In: Mota, S. Introdução à Engenharia Ambiental. Rio de Janeiro: ABES. 1997. P. 146.

22. GLOBO. **O Homem e o Tempo**. Disponível em <www.globo.com/fantastico>. Acesso em agosto de 2003.

23. GOLDEMBERG, J. **S.O.S. Planeta Terra. O Efeito Estufa.** São Paulo. Editora Brasiliense. 1989. p. 73-74

24. GOMES, M.S.P. **Pesquisas em Engenharia Ambiental – Poluição Atmosférica.** Disponível em <http://www.mec.puc-rio.br/prof/mspgomes/engamb.html> Acesso em abril de 2003.

25. HAAG, H. P. (1985) **Chuva Ácida.** in: MOTA, S. Introdução à Engenharia Ambiental. Rio de Janeiro: ABES. 1997. P. 74-76

26. IEC – 651 – **International and Engineering Consortium** – Estabelece **normas para especificação de decibelímetro do tipo 2**.

27. INMET – Instituto Nacional de Meteorologia. Disponível em <www.inmet.gov.br>. Acesso em agosto de 2003.

28. LORA, E. S. **Prevenção e controle da poluição nos setores energético, industrial e de transporte.** Brasília /DF. ANEEL. 2000. p. 230-254.

29. MAIA, F. A. (1999). **Noções Básicas de Segurança** – GAS NATURAL – CTGAS – Centro de tecnologia do gás – Natal/RN, disponível em <www.geocities.com/~fredmaia>. Disponível em maio de 2003.

30. MC LEAN, D.C. (1975). **Nitrogen oxides as phytotox air contaminants.** Stault Reinhalt Luft. Vol. 35. 1975. p. 203-210. in: LORA, E.S. Prevenção e

controle da poluição nos Setores Energéticos, Industrial e de Transporte/DF. ANEEL. 2000. P.244.

31. MOTA, S. **Introdução à Engenharia Ambiental.** Rio de Janeiro: ABES.1997.p. 69-76 e p. 145-162

32. MTE, **Ministério do Trabalho e Emprego, Classes de Caldeiras.**Disponível em <www.trabalhoseguro.com/HTML/NR-HTML/nr13.html>. Acesso em maio de 2003.

33. MTPS – Ministério do trabalho e previdência social. **Relação dos limites de tolerância à ruídos.** Disponível em www.ucs.br/lavia/cap/ambiente/sonar>. Acesso em junho 2003.

34. SEINFELD (1986). **Atmospheric Chemistry and Physic of Air Pollution.** in LORA, E. S. Prevenção e Controle da Poluição nos Setores Energéticos, Industrial e de Transporte/ DF. ANEEL. 2000. P.247.

35. SENAI – DN, **Tipos de Caldeiras e suas utilizações.** Apud**.** Curso de segurança para operadores de Caldeiras. DET- Divisão de Educação e Tecnologia, SENAI, Departamento Nacional. Rio de Janeiro – RJ.1995.cap 2.p.14.

36. SEMACE (1987) – Superintendência Estadual do Meio Ambiente do Ceará. in MOTA, S. Introdução à engenharia Ambiental – Rio de Janeiro. ABES. 1997. P.166.

37. SILVER, C.S. & DEFRIES, R. S. **Uma Terra, um Futuro. O impacto das mudanças Ambientais na Atmosfera, Terra e água.** São Paulo. Makron Books. 1994.p.73

38. SOUZA, P.P. **Fontes de emissões de gases e níveis de Poluição atmosférica das empresas que utilizam caldeiras como fonte de energia, nas micro regiões de Campo Grande, Dourados, e Nova Andradina.** Monografia apresentada como requisito parcial para obtenção do grau de especialista como Agente de Inovação e Difusão Tecnológica – DQI - UFMS 2000.

39. TORREIRA, R.P. **Geradores de vapor.** São Paulo: Companhia de Melhoramentos. 1995. p. 131-230 e p.361-387

40. UNEP (1991) – **The United Nations Environment**. **Urban air Pollution.** in LORA, E. S. Prevenção e Controle da poluição nos setores energético, Industrial e de Transporte. Brasília/DF. ANEEL. 2000. P.239.

41. VIGÂNNICO, A. S., PEREIRA, A.C., NETO, B.L.C., KAWANO, M. **Medição e Prevenção da Poluição Atmosférica.** SENAI, Departamento Nacional. Santos/SP. 1999. 152p.

42. VILAÇA, A. & VIEIRA, A., Espécies Vegetais no Controle da Poluição Sonora. Io de Janeiro, FEEMA. 1983. P. 169.

43. WORLD BANK (1998). **Pollution Prevention and Abatement**. Disponível em <www.worldbank.org>. Acesso em 29 abril 2004.