



**Ana Catarina
Moreira Dias**

**Avaliação do desempenho de um equipamento
automático de medição de efluentes gasosos segundo
os requisitos da norma EN15267-4:2017**



**Ana Catarina
Moreira Dias**

**Avaliação do desempenho de um equipamento
automático de medição de efluentes gasosos segundo
os requisitos da norma EN15267-4:2017**

Relatório de estágio apresentado à Universidade de Aveiro para cumprimento dos requisitos necessários à obtenção do grau de Mestre em Engenharia do Ambiente, realizado sob a orientação científica do Doutor Mário Miguel Azevedo Cerqueira, Professor Auxiliar do Departamento de Ambiente e Ordenamento da Universidade de Aveiro

o júri

presidente

Prof. Doutora Maria Helena Gomes de Almeida Nadais
Professora Auxiliar do Departamento de Ambiente e Ordenamento da Universidade de Aveiro

vogal (orientador)

Prof. Doutor Mário Miguel Azevedo Cerqueira
Professor Auxiliar do Departamento de Ambiente e Ordenamento da Universidade de Aveiro

arguente

Prof. Doutor Manuel Joaquim Sabença Feliciano
Professor Adjunto da Escola Superior Agrária do Instituto Politécnico de Bragança

Agradecimentos

Começo por agradecer ao Carlos Pedro Ferreira, ao Eduardo Fernandes e ao Rui Almeida e a toda a equipa da Sondar, por me terem ajudado em tudo o que puderam ao longo do estágio e por me fazerem sentir tão integrada na equipa. Gostaria de por agradecer ao Professor Doutor Mário Cerqueira, por todo o apoio e disponibilidade que sempre demonstrou ao longo da elaboração deste relatório.

Quero também dirigir uma palavra de agradecimento a todos os professores deste curso por transmitirem o seu conhecimento e experiência.

À família e aos amigos pelo apoio e compreensão que sempre manifestaram ao longo deste processo.

E, por fim, ao André Mendes, pelo apoio e por me fazer sempre acreditar que tudo é possível.

palavras-chave

analisador de gás portátil, emissões, fontes fixas, incerteza parcial e global, poluição atmosférica, , reprodutibilidade, vibração

resumo

O presente relatório foi realizado no âmbito do estágio curricular do curso de Mestrado Integrado em Engenharia do Ambiente da Universidade de Aveiro. O estágio realizou-se na empresa SONДАР, situada no concelho de Ílhavo, distrito de Aveiro.

O objetivo do estágio consistiu em estudar o desempenho de um analisador de gás portátil, da marca Horiba, modelo PG 250, tendo em conta o que requer a norma EN 15267-4:2017 para os parâmetros O₂, CO, NO e SO₂ no ensaio de “reprodutibilidade” e no ensaio de “influência de vibração” sendo calculadas as incertezas combinadas e globais expandidas para cada parâmetro, avaliando, assim, a aptidão do equipamento face aos requisitos de *performance*. Este estudo surge para colmatar a falta de informação que existe na certificação do equipamento quanto a estes ensaios.

Para realizar o ensaio de “reprodutibilidade” foram feitas medições paralelas numa incineradora de resíduos sólidos urbanos, usando dois equipamentos automáticos de medição portáteis, enquanto os testes para os ensaio de “influência de vibração” foram realizados no laboratório de ensaios do LIQ – Laboratório Industrial da Qualidade localizado no concelho de Águeda, distrito de Aveiro.

Da análise efetuada aos resultados, verificou-se que, para ambos os ensaios em estudo, todos os parâmetros cumpriam os critérios de validação.

Concluiu-se que, para os parâmetros avaliados, o sistema cumpria os requisitos referentes à reprodutibilidade e influência de vibração definidos na norma EN 15267-4:2017.

keywords

air pollution, emissions, fixed sources, partial and global uncertainty, portable gas analyzer, reproducibility, vibration

abstract

The report falls within the scope of the curricular internship inserted in the course of Integrated Master in Environmental Engineering of the University of Aveiro, with the objective of obtaining the master's degree. The internship was performed at SONDAR, located in the municipality of Ílhavo, in Aveiro.

The purpose of this report is to study the performance of a portable gas analyzer, Horiba model PG 250, considering the requirements of EN 15267-4: 2017 for parameters O₂, CO, NO and SO₂ in the "reproducibility" and the "vibration influence" test, where the combined and global uncertainties for each parameter are calculated, evaluating the suitability of the equipment in accordance with the performance requirements. This study appears to fill the lack of information that exists in the certification of the equipment for these tests.

To perform the test "reproducibility" parallel measurements were done in a solid waste incinerator using two P-AMS. The "influence of vibration" tests was performed in the laboratory of LIQ - Industrial Quality Laboratory, located in Águeda, Aveiro district.

The analysis of the results allowed to verify that all the parameters fulfill the validation criteria for both the tests under study.

In summary, it is concluded that for the evaluated parameters the system complies with the requirements for "reproducibility" and "influence of vibration" defined in EN 15267-4: 2017.

ÍNDICE

ÍNDICE DE FIGURAS	iii
ÍNDICE DE TABELAS	iv
ÍNDICE DE GRÁFICOS	v
NOMENCLATURA	vi
CAPÍTULO I. INTRODUÇÃO	1
1.1 Contextualização do Tema	1
1.2 Enquadramento do Estágio.....	3
1.3 Metodologia e Estrutura do Relatório.....	5
CAPÍTULO II. LEGISLAÇÃO APLICÁVEL	7
2.1 Enquadramento Legal.....	7
2.2 Norma de Referência.....	9
CAPÍTULO III. CASO DE ESTUDO	13
3.1 Horiba PG 250	13
3.1.1 Princípios de medição.....	13
3.1.2 Certificação.....	16
3.2 Reprodutibilidade	17
3.3 Influência da Vibração.....	17
CAPÍTULO IV. METODOLOGIA	21
4.1 Medição e Calibração do Equipamento	21
4.2 Reprodutibilidade	23
4.2.1 Procedimento.....	23
4.2.2 Parâmetros e requisitos	24
4.3 Influência da Vibração.....	24
4.3.1 Procedimento.....	26
4.3.2 Parâmetros e requisitos	27
4.4 Incerteza Combinada e Global Expandida.....	27
4.4.1 Incerteza Combinada.....	27

4.4.2	Incerteza Global Expandida.....	29
CAPÍTULO V. ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS.....		31
5.1	Verificação dos Requisitos de Performance	31
5.1.1	Reprodutibilidade	31
5.1.2	Influência de Vibração	37
5.2	Cálculo da Incerteza Combinada e Global Expandida.....	42
CAPÍTULO VI. CONSIDERAÇÕES FINAIS		45
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS		47
ANEXOS		51
Anexo I – Reprodutibilidade O ₂		51
Anexo II – Reprodutibilidade CO		52
Anexo III – Reprodutibilidade NO		53
Anexo IV – Reprodutibilidade SO ₂		54
Anexo V – Influência de Vibração do O ₂		55
Anexo VI – Influência de Vibração do CO.....		57
Anexo VII – Influência de Vibração do NO.....		59
Anexo VIII – Influência de Vibração do SO ₂		61

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 - Evolução da empresa.	4
Figura 2 - Organograma da empresa.	4
Figura 3 - HORIBA modelo PG250	13
Figura 4 - Design da câmara dupla (fonte: GE Measurement & Control, 2018)...	14
Figura 5 - Diagrama de NDIR (fonte: LumaSense Technologies, 2018).	15
Figura 6 - Esquema do princípio de funcionamento do analisador em contínuo de óxidos de azoto (fonte: Agência Portuguesa do Ambiente, 2010).....	16
Figura 7 - Esquema do sistema amostragem (P-AMS).	17
Figura 8 - Sistema de vibração.....	19
Figura 9 - Exemplo de tela de medição (à esquerda) e tela de calibração (à direita) em fase de ajustes.	21
Figura 10 - Exemplo do display (à esquerda) e apresentação gráfica (à direita). 22	
Figura 11 - Exemplo de tela do sine profile (à esquerda) e perfil de vibração (à direita).	22
Figura 12 - Kit de medidores gasosos.....	25
Figura 13 – Exemplo de um sistema montado para o eixo do X.	26

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1 – Identificação da normas de referência aplicadas à reprodutibilidade e à influência de vibração.....	7
Tabela 2 - Normas aplicadas à análise de emissões de espécies químicas.....	8
Tabela 3 - Características de desempenho.....	10
Tabela 4 - Características principais do analisador Horiba, PG250	14
Tabela 5 - Relatórios de certificação.....	16
Tabela 6 - Síntese dos requisitos de reprodutibilidade.....	24
Tabela 7 - Síntese dos requisitos de vibração.....	27
Tabela 8 - Resumo dos resultados de reprodutibilidade do O ₂	31
Tabela 9 - Resumo dos resultados de reprodutibilidade do CO.	33
Tabela 10 - Resumo dos resultados de reprodutibilidade do NO.	34
Tabela 11 - Resumo dos resultados de reprodutibilidade do SO ₂	36
Tabela 12 - Síntese dos resultados dos ensaios de reprodutibilidade.	37
Tabela 13 - Resumo dos resultados de vibração do O ₂	38
Tabela 14 - Resumo dos resultados de vibração do CO.....	39
Tabela 15 - Resumo dos resultados de vibração do NO.....	40
Tabela 16 - Resumo dos resultados de vibração do SO ₂	41
Tabela 17 - Síntese dos resultados dos ensaios.....	42
Tabela 18 – Incertezas calculadas para o O ₂	43
Tabela 19 - Incertezas calculadas para o CO.	43
Tabela 20 - Incertezas calculadas para o NO.	43
Tabela 21 - Incertezas calculadas para o SO ₂	43
Tabela 22 - Pares de valores de O ₂	51
Tabela 23 - Pares de valores de CO.	52
Tabela 24 - Pares de Valores de NO.	53
Tabela 25 - Pares de valores de SO ₂	54

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - Pares dos valores de O ₂ medidos (P-AMS ₁ vs P-AMS ₂).	32
Gráfico 2 - Pares dos valores de CO medidos (P-AMS ₁ vs P-AMS ₂).	33
Gráfico 3 - Pares dos valores de NO medidos (P-AMS ₁ vs P-AMS ₂).	35
Gráfico 4 - Pares dos valores de SO ₂ medidos (P-AMS ₁ vs P-AMS ₂).	36
Gráfico 5 -Valores de O ₂ medidos.	38
Gráfico 6 - Valores de CO medidos.....	39
Gráfico 7 - Valores de NO medidos.....	40
Gráfico 8 -Valores de SO ₂ medidos.	41
Gráfico 9 - Perfil de vibração de O ₂ no eixo do X.	55
Gráfico 10 - Perfil de vibração de O ₂ no eixo do Y.	55
Gráfico 11 - Perfil de vibração do O ₂ no eixo dos Z.	56
Gráfico 12 - Perfil de vibração de CO no eixo do X.....	57
Gráfico 13 - Perfil de vibração de CO no eixo do Y.....	57
Gráfico 14 - Perfil de vibração do CO no eixo dos Z.	58
Gráfico 15 - Perfil de vibração de NO no eixo do X.....	59
Gráfico 16 - Perfil de vibração de NO no eixo do Y.....	59
Gráfico 17 - Perfil de vibração do NO no eixo dos Z.	60
Gráfico 18 - Perfil de vibração de SO ₂ no eixo do X.....	61
Gráfico 19 - Perfil de vibração de SO ₂ no eixo do Y.....	61
Gráfico 20 - Perfil de vibração do SO ₂ no eixo dos Z.	62

NOMENCLATURA

Abreviaturas

AEA	Agência Europeia do Ambiente
AM	Método Alternativo
AMS	Sistema de Medição Automático
APA	Agência Portuguesa do Ambiente
CE	Comissão Europeia
CEN	Comité Europeu de Normalização
CEMS	Sistemas de Monitorização em Contínuo de Emissões
EN	Norma Europeia
IPAC	Instituto Português de Acreditação
ISO	Organização Internacional de Normalização
LSGC	Limite Superior da Gama de Certificação
OMS	Organização Mundial de Saúde
P-AMS	Equipamento Automático de Medição Portátil
SRM	Método de Referência Padrão
U	Incerteza Global Expandida
U_c	Incerteza Combinada
UE	União Europeia
U_i	Incertezas Padrão
VLE	Valor Limite de Exposição
VLR	Valor Limite de Referência

Espécies Químicas

CO	Monóxido de Carbono
COT	Carbono Orgânico Total
NO	Monóxido de Azoto
O₂	Oxigénio
SO₂	Dióxido de Enxofre

CAPÍTULO I. INTRODUÇÃO

1.1 CONTEXTUALIZAÇÃO DO TEMA

O ar é um recurso indispensável e uma necessidade constante para todos. Existe, inevitavelmente, uma ligação determinante na relação entre a qualidade do ar e a exposição humana, visto que uma má qualidade do ar provocada pela poluição atmosférica afeta o ser humano a vários níveis, prejudicando tanto a sua saúde como a saúde do ambiente.

A poluição do ar é a contaminação do ambiente, interior ou exterior, por qualquer agente químico, físico ou biológico, que modifica as características naturais da atmosfera. Entre as fontes comuns de poluição do ar incluem-se os aparelhos domésticos de combustão, os veículos automóveis, as instalações industriais e os incêndios florestais. A exposição à poluição do ar interior e exterior tem sido associada sobretudo a doenças cardiorrespiratórias, e, em situações extremas, pode mesmo ser fatal (OMS, 2018).

O nível da poluição do ar é avaliado pela quantificação das principais substâncias poluentes presentes no ar, os chamados indicadores da qualidade do ar. Considera-se poluente qualquer substância presente no ar e que, pela sua concentração, possa torná-lo impróprio, nocivo ou ofensivo à saúde, inconveniente ao bem estar público, danoso aos materiais, à fauna e à flora ou prejudicial à segurança, ao uso e gozo da propriedade e às atividades normais da comunidade. (APA, 2018).

Entre os diversos poluentes atmosféricos, os que são considerados como mais relevantes são o dióxido de enxofre (SO₂), óxidos de azoto (NO_x), monóxido de carbono (CO), dióxido de carbono (CO₂), ozono (O₃), metais pesados, compostos orgânicos voláteis (COV's) e partículas em suspensão. Atualmente, e em termos de danos na saúde humana, as partículas (PM) e o ozono troposférico (O₃) são os poluentes mais problemáticos na Europa, seguidos do benzo(a)pireno (BaP) e do dióxido de azoto (NO₂). Em termos de danos aos ecossistemas, os poluentes atmosféricos mais nocivos são o O₃, amónia (NH₃) e os NO_x (AEA, 2014).

A crescente preocupação ambiental da população, nomeadamente a necessidade de conhecer a qualidade do ar que se respira, realça a importância de

estudos que contribuam para a determinação da qualidade de vida das populações. Face a esta situação, a monitorização sistemática das concentrações de poluentes presentes na atmosfera é fundamental para apurar o cumprimento de aspetos legais associados e garantir a qualidade de vida existente num local.

A medição das emissões de poluentes atmosféricos é obrigatória por lei e pode ser realizada com recurso a métodos manuais, automáticos ou semiautomáticos (Santos, 2003).

As fontes de poluição podem ser classificadas, quanto à sua origem, em fontes estacionárias e fontes móveis, e quanto à sua natureza, em naturais ou antropogénicas. As antropogénicas podem ser subdivididas em dois grupos: um abrangendo atividades pouco representativas nas áreas urbanas consideradas como atividades não industriais e outro grupo formado por atividades individualmente significativas, tendo em conta a variedade ou intensidade de poluentes emitidos, como as refinarias, indústrias químicas, e centrais de energia elétrica.

Atualmente, a monitorização da qualidade do ar em Portugal é realizada recorrendo a estações fixas ou a campanhas experimentais executadas com estações móveis, empregando para tal métodos de referência definidos pela legislação ou por documentos equivalentes (Monteiro, 2007). As primeiras são utilizadas quando se pretende monitorizar, de forma contínua, o nível de poluição que ocorre num determinado local, enquanto as segundas são empregues quando se pretende realizar campanhas de medição que sejam limitadas no tempo e no espaço. Os analisadores utilizados para a monitorização apresentam um funcionamento contínuo e normalmente são instalados nas estações ou em abrigos, sendo os dados obtidos expressos a partir das concentrações de um determinado poluente num dado intervalo de tempo (França, 2011).

A amostragem contínua é realizada através de analisadores que operam segundo os métodos de referência, baseando-se em propriedades óticas ou físicas dos poluentes, permitindo a produção de dados em tempo real, emitindo continuamente um sinal elétrico proporcional à concentração do poluente medido, sendo os valores instantâneos obtidos e armazenados na memória dos próprios analisadores (LRA, 2010)

Com o passar dos anos, foram fabricados analisadores mais rigorosos na monitorização de emissões, uma vez que a alargada legislação ambiental e os novos acordos assim o obrigaram. É de salientar que em situações de

incumprimento dos valores limite definidos para cada poluente, é obrigatória a elaboração e aplicação de planos e programas, a fim de restaurar os valores exigidos num prazo razoável.

O objetivo geral do estágio objeto deste relatório, consistiu na avaliação do desempenho de um analisador de gás portátil, da marca Horiba, modelo PG 250, tendo em conta o que requer a norma EN 15267-4:2017 para os parâmetros O₂, CO, NO e SO₂ no ensaio de “reprodutibilidade” e no ensaio de “influência de vibração” sendo posteriormente calculadas as incertezas combinadas e globais expandidas para cada parâmetro, avaliando, assim, a aptidão do equipamento face aos requisitos de *performance*. Este estudo surge para colmatar a falta de informação que existe na certificação do equipamento quanto a estes ensaios.

1.2 ENQUADRAMENTO DO ESTÁGIO

O presente relatório foi desenvolvido na sequência do estágio curricular do curso de Mestrado Integrado em Engenharia do Ambiente da Universidade de Aveiro, o qual foi realizado no Grupo SONДАР, sob a orientação do Professor Mário Cerqueira, pela Universidade de Aveiro, e a coorientação Engenheiro Carlos Pedro, pelo Grupo SONДАР.

O Grupo SONДАР é uma pequena/média empresa que surgiu em 1998 e está localizada na Gafanha da Nazaré, uma vila do concelho de Ílhavo, distrito de Aveiro. Tem como principal setor de atividade a monitorização de emissões gasosas, sendo o primeiro laboratório privado acreditado pelo Instituto Português de Acreditação (IPAC) para a realização de ensaios de acordo com a norma Europeia (EN) ISO/IEC 17025 - Requisitos gerais de competências para laboratórios de ensaio e calibração.

A empresa oferece dois tipos de serviços: a monitorização de emissões gasosas, que consiste na realização de testes com o objetivo de obter informações sobre as emissões de efluentes gasosos em tempo real em empresas industriais que possuem uma licença de emissão, concedida pela Agência Portuguesa do Ambiente (APA) ou pelas autoridades locais (CCDR), onde estão definidos os limites de emissão dos poluentes; e a verificação de Sistemas de Monitorização de Emissões em Contínuo (CEMS), através da qual a empresa avalia se estes sistemas cumprem a Norma Portuguesa EN 1418 intitulada por “Emissões de

fontes estacionárias - Garantia de qualidade de sistemas de medição automatizados” e assegura que as medições efetuadas para a monitorização dos valores limite através dos CEMS cumprem os requisitos de garantia de qualidade especificados na norma.

Com o passar dos anos, foi criada a SondarLab, de forma a complementar os serviços da empresa no que diz respeito à qualidade do ar ambiente e à qualidade do ar interior. Deu-se, então, início à evolução do grupo (figura 1), e posteriormente à sua expansão, sendo que, atualmente, é constituída por seis empresas.

No presente, a empresa é membro dos seguintes grupos técnicos de trabalho: CT-71 – Comissão técnica de normalização – Qualidade do Ar, SC1 – Fontes Fixas integrada no Comité Europeu de Normalização (CEN) e RELACRE CTR01 – Garantia da Qualidade nos Laboratórios.

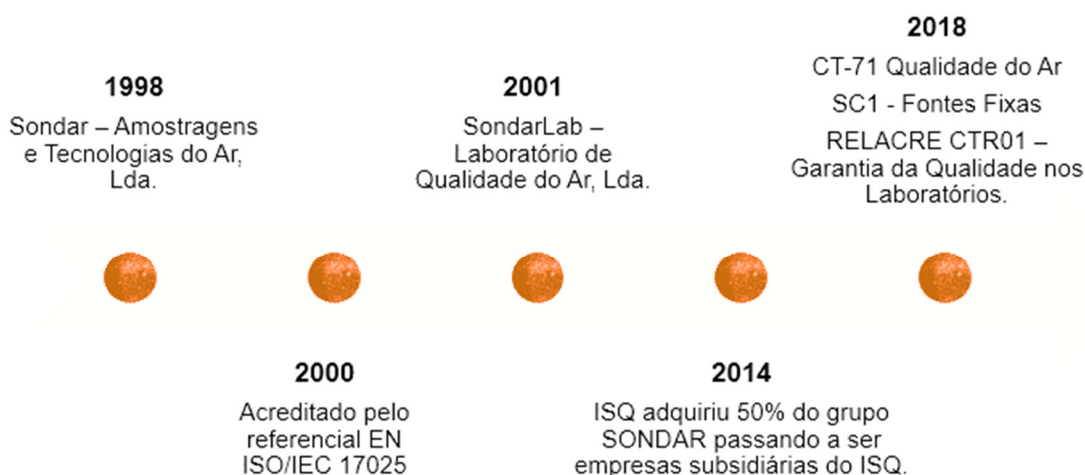


Figura 1 - Evolução da empresa.

Neste momento, possui cerca de 50 trabalhadores distribuídos pelos vários departamentos existentes na empresa (figura 2).

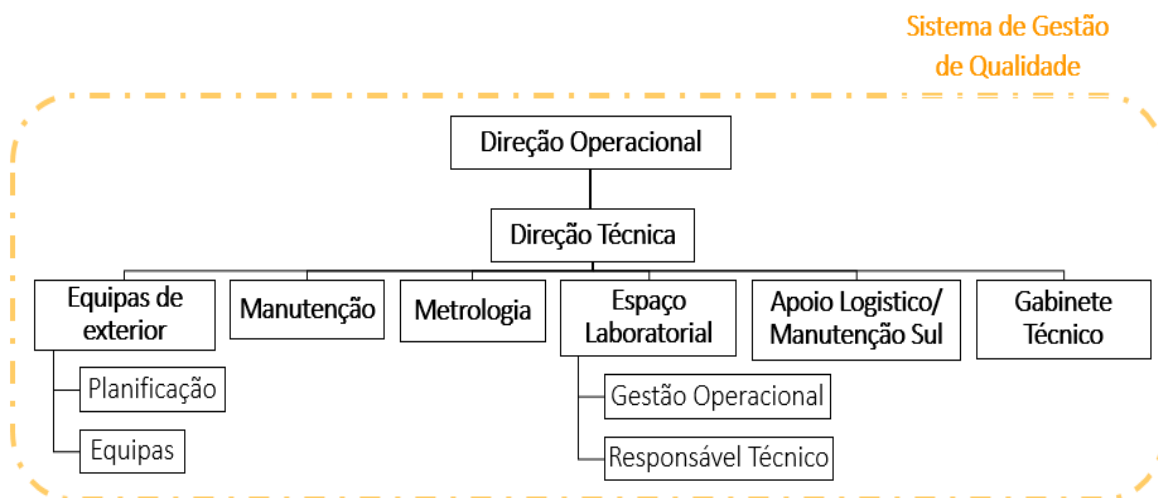


Figura 2 - Organograma da empresa.

É acreditada para a realização de ensaios dos seguintes parâmetros: partículas (PM_{10} e $PM_{2,5}$); sulfureto de hidrogénio (H_2S); monóxido de carbono (CO); dióxido de carbono (CO_2); oxigénio (O_2); dióxido de enxofre (SO_2); óxidos de azoto (NO_x); compostos orgânicos totais (COT); humidade absoluta; temperatura; velocidade e pressão; compostos orgânicos voláteis não metano (COVNM); metano; enxofre reduzido total (TRS); fluoretos; cloretos; óxido nitroso (N_2O); clorodibenzodioxinas; clorodibenzofuranos; hidrocarbonetos aromáticos policíclicos (PAH's); fluoretos; cloretos; metais pesados; amónia (NH_3); ácido clorídrico (HCl), ácido bromídrico (HBr), ácido fluorídrico (HF), compostos halogenados (Cl_2, Br_2); e bifenilos policlorados (PCB's).

O trabalho desenvolvido neste estágio teve como objetivo avaliar a aplicabilidade do equipamento automático de medição de efluentes gasosos à monitorização da qualidade do ar, bem como perceber se esta tipologia de equipamento consegue cumprir os objetivos de qualidade de dados estabelecidos na legislação.

1.3 METODOLOGIA E ESTRUTURA DO RELATÓRIO

O trabalho desenvolvido é apresentado ao longo de seis capítulos.

Capítulo I. INTRODUÇÃO

Envolve a contextualização teórica do tema, a caracterização e os objetivos, bem como o enquadramento do estágio e a descrição da empresa onde o mesmo foi realizado.

Capítulo II. LEGISLAÇÃO APLICÁVEL

É realizado o enquadramento legal e a análise normativa. Faz-se referência aos objetivos da norma EN 15267-4:2017 e são descritos os requisitos de desempenho do equipamento automático de medição de efluentes gasosos, tendo como foco principal de desenvolvimento os ensaios de reprodutibilidade e influência da vibração.

Capítulo III. CASO DE ESTUDO

Breve introdução sobre o equipamento automático de medição, fazendo alusão à função, às utilizações e aos respetivos métodos e princípios de

funcionamento do analisador em estudo. Na segunda parte, são descritos os sistemas de controlo e medição dos ensaios em estudo.

Capítulo IV. METODOLOGIA

São identificados o procedimento de calibração do analisador e o tratamento e análise de informação relativa aos dados e os requisitos que cada parâmetro tem de cumprir tanto não que se refere à reprodutibilidade como à influência de vibração. É, também apresentado o método usado para o cálculo das incertezas parciais e globais expandidas para cada parâmetro em estudo.

Capítulo V. ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

São apresentados todos os resultados e cálculos efetuados, os quais são exibidos sob forma de tabelas e gráficos. Posteriormente, é feita a sua análise crítica, tendo por base o suporte teórico apresentado nos capítulos anteriores, e estabelecem-se relações entre os diversos resultados obtidos.

Capítulo VI. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Por fim, procede-se à compilação das conclusões do trabalho e avalia-se se o equipamento cumpre os requisitos constantes na norma EN 15267-4:2017.

CAPÍTULO II. LEGISLAÇÃO APLICÁVEL

2.1 ENQUADRAMENTO LEGAL

Com o intuito de diminuir os efeitos da poluição atmosférica sobre a saúde pública e ecossistemas, foram adotadas medidas legislativas, tanto ao nível comunitário como ao nível nacional.

Nas últimas décadas, a melhoria da qualidade do ar foi um dos sucessos da política comunitária em relação ao ambiente. Contudo, e apesar das ações delineadas (monitorização e fiscalização da qualidade do ar, avaliação e implementação de medidas de controlo e comunicação de riscos), existem ainda problemas que permanecem e têm urgência em ser resolvidos. Verificou-se a introdução de objetivos de qualidade do ar que visam evitar, prevenir ou limitar os efeitos nocivos sobre a saúde pública e sobre o ambiente de uma forma coerente e harmonizada (OMS, 2006; Figueiredo, 2011).

A Norma Europeia EN 15267-4:2017 (tabela 1) diz respeito à certificação dos sistemas automáticos de medição (Parte 4: Critérios de desempenho e procedimentos de teste para sistemas de medição automáticos para medições periódicas de emissões de fontes estacionárias).

De acordo com estas normas, as técnicas de realização de amostragens pontuais para a determinação das emissões de poluentes para a atmosfera por fontes fixas podem ser divididas em técnicas com recurso a métodos manuais ou técnicas com recurso a métodos automáticos.

Tabela 1 – Identificação da normas de referência aplicadas à reprodutibilidade e à influência de vibração.

<i>Norma de referência</i>	<i>EN 15267-4:2017</i> <i>Qualidade do ar - Certificação dos sistemas automáticos de medição - Parte 4: Critérios de desempenho e procedimentos de teste para sistemas de medição automáticos para medições periódicas de emissões de fontes estacionárias</i>
<i>Reprodutibilidade</i>	<i>EN 15267-4:2017</i> O ponto 12.3 desta norma faz referência aos procedimentos de teste comuns para testes de campo.

Influência da Vibração	<p>IEC 60068-2-6:2007 Testes Ambientais: Parte 2-6: Teste Fc: Vibração (sinusoidal) Especifica o método de teste que fornece um procedimento padrão para determinar a capacidade de componentes, equipamentos e outras cláusulas para resistir a determinadas vibrações.</p>
	<p>EN 15267-4:2017 O ponto 10.13 desta norma faz referência ao método anteriormente descrito.</p>

Quanto aos poluentes emitidos por fontes fixas, existem, desde 1993, valores limites de emissão (VLE), estabelecidos de acordo com o poluente, sector industrial e tipo de fonte específica, devendo ser avaliados num sistema de autocontrolo por parte da entidade emissora (Santos, 2006).

As espécies químicas são analisadas por métodos e metodologias referenciadas na legislação indicada da tabela 2.

Tabela 2 - Normas aplicadas à análise de emissões de espécies químicas.

<p>O₂ Métodos de referência Incerteza parcial Incerteza global</p>	<p>EN 14789:2017 Emissões de fontes estacionárias - Determinação da concentração em volume de O₂ - Método de referência padrão: Paramagnetismo Especifica o princípio de paramagnetismo determinando-se a concentração de O₂.</p>
<p>CO Métodos de referência Incerteza parcial Incerteza global</p>	<p>EN 15058:2017 Emissões de fontes estacionárias - Determinação da concentração em massa de CO - Método de referência padrão: Espectrometria de infravermelhos não dispersivo Especifica o princípio de medição de absorção de infravermelhos (técnicas não dispersivas de infravermelhos) determinando-se a concentração de CO.</p>
<p>SO₂ Métodos de referência Incerteza parcial Incerteza global</p>	<p>CEN TS 17021:2017 Emissões de fontes estacionárias - Determinação da concentração em massa de SO₂ por técnicas instrumentais Especifica o método que já foi descrito anteriormente dedicado ao CO determinando a concentração de SO₂.</p>
<p>NO Métodos de referência Incerteza parcial Incerteza global</p>	<p>EN 14792:2017 Emissões de fontes estacionárias - Determinação da concentração em massa de NO - Método de referência padrão: Quimiluminescência Especifica o princípio de químico-luminescência para a determinação de NO_x.</p>

A definição de valores limite de concentração de poluentes na atmosfera constitui um dos instrumentos de uma política de gestão da qualidade do ar adequada à proteção da saúde e do ambiente. O Decreto-Lei nº 127/2013, habilita a que se apliquem regras e valores limite de emissão aplicáveis às instalações de combustão, às instalações de incineração e co-incineração de resíduos e às atividades que usam solventes orgânicos para limitar os compostos orgânicos voláteis.

Neste sentido, são fixados os valores limites da emissão de poluentes por fontes fixas, tendo em conta a natureza, as quantidades e a nocividade das emissões em causa, por forma a satisfazer as exigências de proteção do ambiente e de bem-estar das populações.

A legislação referente ao VLE do O₂, CO, SO₂ e NO em condições normalizadas (273 K e 101,3 kPa) é indicada no Anexo VI na Parte 3 da Diretiva 2010/75/UE relativa às emissões industriais no que diz respeito à prevenção e ao controlo integrados da poluição.

Com o evoluir do conhecimento técnico, foram surgindo novos equipamentos automáticos, compactos e portáteis, tendo sido aprovados e validados em testes que provaram a sua fiabilidade e reprodutibilidade. Estes progressos técnicos foram acompanhados do desenvolvimento de diversas normas e métodos aplicáveis à caracterização das emissões com recurso a métodos automáticos.

2.2 NORMA DE REFERÊNCIA

A EN 15267-4:2017 foi a norma de referência utilizada para os testes realizados neste estágio. O documento é a parte nº 4 de um conjunto de normas europeias dedicadas à qualidade do ar, nomeadamente à certificação de sistemas de medição automáticos.

A norma intitulada por “Qualidade do ar - Certificação de sistemas automáticos de medição - Parte 4: Critérios de desempenho e procedimentos de teste para sistemas de medição automáticos para medições periódicas de emissões de fontes estacionárias.” foi aprovada pelo Comité Europeu de Normalização (CEN) em 26 de setembro de 2016, mas só foi liberada a 5 de janeiro de 2017 e tem como o objetivo especificar os critérios gerais de desempenho e procedimentos de teste para equipamentos automáticos de medição portáteis (P-AMS) utilizados para

medições periódicas das emissões de fontes estacionárias. Os testes de desempenho baseiam-se em técnicas de medição específicas do método de referência padrão (SRM) ou um método alternativo (AM).

De acordo com os regulamentos internos do CEN / CENELEC, as organizações nacionais de normalização dos seguintes países são obrigadas a implementar esta norma Europeia: Áustria, Bélgica, Bulgária, Croácia, Chipre, República Checa, Dinamarca, Estónia, Finlândia, Antiga República Jugoslava da Macedónia, França, Alemanha, Grécia, Hungria, Islândia, Irlanda, Itália, Letónia, Lituânia, Luxemburgo, Malta, Países Baixos, Noruega, Polónia, Portugal, Roménia, Sérvia, Eslováquia, Eslovénia, Espanha, Suécia, Suíça, Turquia e Reino Unido (EN 15267-4:2017).

Nesta norma estão detalhados os testes de laboratório, sob condições controladas, e testes de campo com o objetivo de avaliar o desempenho do equipamento. Os testes de campo foram projetados para verificar se um P-AMS pode continuar a trabalhar em aplicações reais verificando se efeitos externos (transporte para o local de medição, *set-up* do equipamento, entre outros) influenciam as suas medições.

A norma EN 15267-4:2017 refere 14 parâmetros de desempenho, os quais são apresentados na tabela 3.

Tabela 3 - Características de desempenho.

Características de desempenho	
Tempo de resposta	Influência da temperatura ambiente
Falta de ajuste (Linearidade)	Influência de variações de tensão
Deriva de curto prazo	Influência da pressão do gás da amostra
Sensibilidade cruzada	Influência do fluxo de gás da amostra
Repetibilidade	Eficiência do conversor de NO _x
Equivalência com SRM	Fatores de resposta para medições COT
Reprodutibilidade	Influência da vibração

Para o caso de estudo, só irão ser estudadas duas características de desempenho, estando elas assinaladas na tabela, a *Reprodutibilidade* e a *Influência da Vibração*.

CAPÍTULO III. CASO DE ESTUDO

3.1 HORIBA PG 250

O analisador portátil da marca Horiba, modelo PG 250, apresentado na figura 3, é o único equipamento multiparamétrico e polivalente que permite a monitorização em tempo real de emissões gasosas de cinco substâncias: NO, SO₂, CO, CO₂, e O₂.

O analisador é muito versátil, podendo ser aplicado em testes de emissões, testes de eficiência de combustão, auditorias de teste e precisão relativa, sistemas de controlo de poluição, geradores de energia e refinarias, turbinas a gás e caldeiras, incineradores e utilidades elétricas.



Figura 3 - HORIBA modelo PG250

3.1.1 Princípios de medição

Geralmente, os P-AMS funcionam com base em sensores eletroquímicos. O analisador da Horiba, modelo PG 250, é diferente, uma vez que utiliza os mesmos princípios físicos de medição dos analisadores usados nos sistemas contínuos de monitorização de emissões gasosas (CEMS), cumprindo os critérios definidos nas normas de referência para estes ensaios. Na tabela 4 apresentam-se os princípios e gamas de medição de cada espécie química que são característicos do modelo PG250.

Tabela 4 - Características principais do analisador Horiba, PG250

Parâmetros	Princípios de medição	Gamas de Medição
O ₂	paramagnetismo	0 – 25% vol
CO	sensor de infravermelhos não dispersivo (NDIR)	0 – 5000 ppm
SO ₂		0 – 3000 ppm
NO	quimioluminescência (modulação de fluxo cruzado)	0 – 2500 ppm

Os princípios de medição de cada espécie química são descritos, resumidamente, do seguinte modo:

- **Paramagnetismo**

Segundo a norma EN 14789:2017, a medição do O₂ pelo método paramagnético baseia-se na propriedade que as moléculas de oxigénio possuem de ser fortemente atraídas para um campo magnético. As principais vantagens deste método são: a estabilidade a longo prazo, a elevada precisão e a insensibilidade à influência cruzada de outros gases.

A figura 4 mostra o funcionamento da câmara onde se processa a medição do O₂. A propriedade paramagnética do oxigénio faz com que uma amostra de gás contendo oxigénio se mova dentro de um campo magnético. O “vento magnético” criado pelo movimento do gás é detetado por termístores. O sinal resultante, juntamente com dados relativos ao poder calorífico e à viscosidade do gás, são usados pelo microprocessador do transmissor para calcular com precisão a concentração de oxigénio.

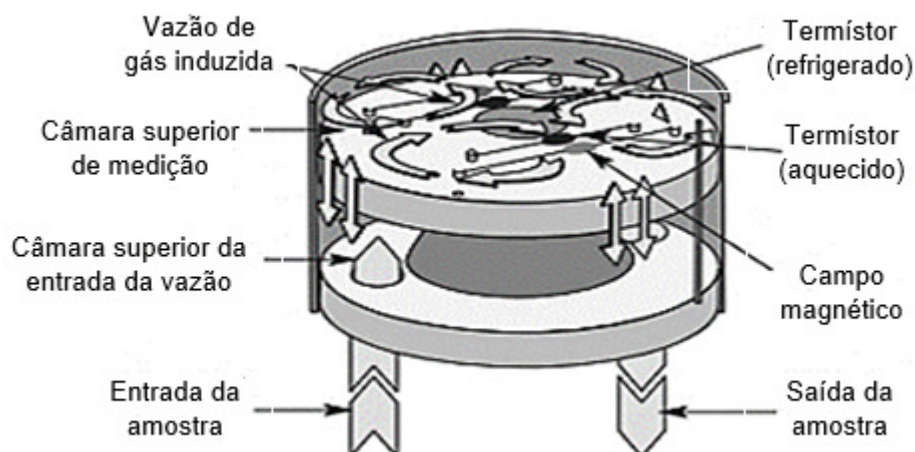


Figura 4 - Design da câmara dupla (fonte: GE Measurement & Control, 2018).

- **Sensor de infravermelhos não dispersivo (NDIR)**

Segundo a norma EN 15058:2017, para o CO, e a norma CEN TS 17021:2017, para o SO₂, o gás é bombeado ou difunde na câmara de amostra e a concentração de gás é medida opticamente pela absorção de um comprimento de onda específico no espectro de infravermelhos. A fonte de luz infravermelha (1) com diferentes comprimentos de onda é direcionada para uma câmara de medição (2), onde uma amostra de gás é introduzida e onde ocorre a absorção da radiação infravermelha correspondente à sua frequência característica. Posteriormente, a radiação é conduzida para um filtro (3), que permite a passagem das frequências de uma certa faixa de comprimentos de onda e rejeita as frequências fora dessa faixa, dependendo da sua característica de absorção. De seguida, passa por um detetor (4), que possui um filtro ótico na sua frente e que elimina toda a luz, exceto o comprimento de onda que as moléculas de gás selecionadas podem absorver. Este sinal é processado eletronicamente por outro detetor (5), o qual, finalmente gera informações sobre a concentração de gás. O princípio do método é ilustrado na figura 5.

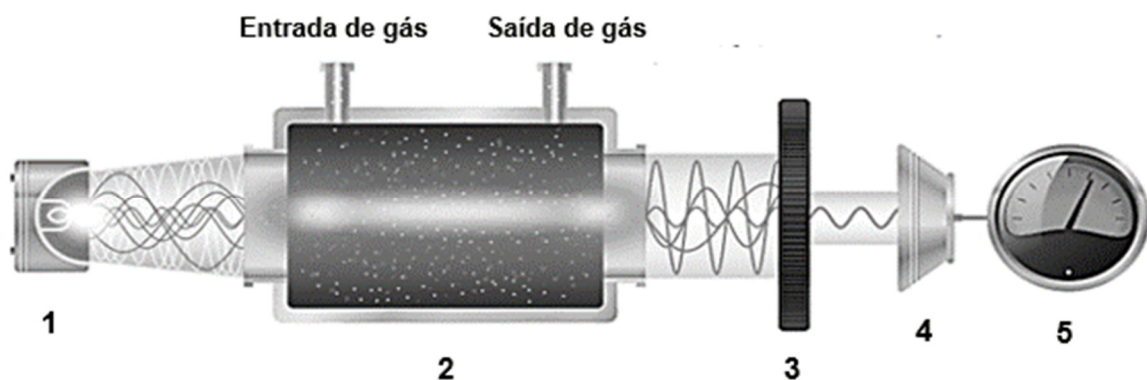


Figura 5 - Diagrama de NDIR (fonte: LumaSense Technologies, 2018).

- **Quimioluminescência**

Segundo a norma EN 4792:2017, para o NO, o método baseia-se na deteção fotométrica da químio-luminescência, sendo esta resultante da reação de oxidação do NO com o ozono, O₃. O ozono necessário para esta reação é produzido por um gerador incorporado no equipamento.

A intensidade da luz emitida na reação é proporcional à concentração de NO presente, o que permite utilizar esta reação na medição direta das concentrações de NO no ar ambiente. A luz emitida pela reação de quimioluminescência é recebida

por um tubo fotomultiplicador, onde é feita a sua conversão num sinal elétrico proporcional à quantidade de moléculas de NO presentes na câmara de medição.

Na figura 6 é apresentado um esquema do sistema de medição de NO por quimioluminescência, com duas câmaras de reação.

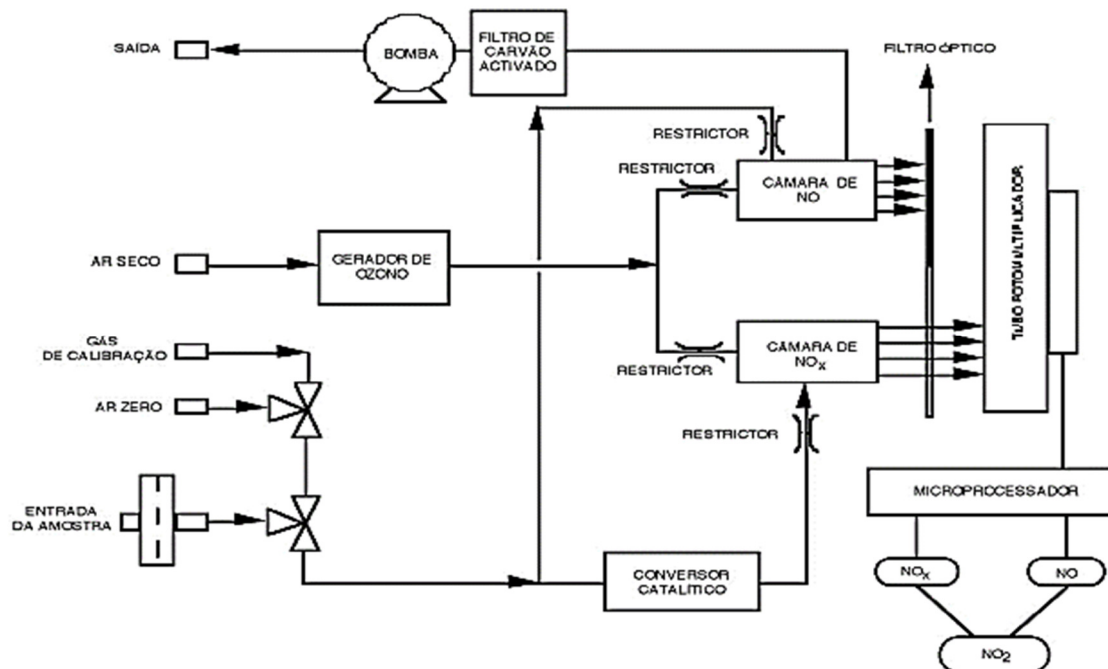


Figura 6 - Esquema do princípio de funcionamento do analisador em contínuo de óxidos de azoto (fonte: Agência Portuguesa do Ambiente, 2010).

3.1.2 Certificação

O equipamento caracterizado neste estágio está aprovado pelo Esquema de Certificação da *Environment Agency*, do Reino Unido, geralmente conhecido por MCERTS, e pela empresa TÜV Rheinland, fornecedor global de serviços técnicos, de segurança e de certificação. Os relatórios de certificação estão identificados na tabela 5.

Tabela 5 - Relatórios de certificação.

<p>HORIBA PG 250 Sira TUV (QAL 1)</p>	<p>Sira: MC110186/03 Certificado de conformidade do produto TUV: ID 0000001015 Certificado de conformidade do produto (QAL1)</p>
--	--

3.2 REPRODUTIBILIDADE

A reprodutibilidade é uma medida de concordância entre dois P-AMS idênticos aplicados em paralelo em testes de campo, sendo fornecidas medições emparelhadas de O₂, CO, NO e SO₂. Esta característica de desempenho serve para descrever a tolerância específica do equipamento.

A metodologia usada para este teste de reprodutibilidade está detalhada no Capítulo IV deste relatório.

O sistema de amostragem é composto pelo filtro aquecido, a sonda de amostragem aquecida, a linha de amostragem aquecida, a unidade de acondicionamento da amostra e o analisador de gases. Pode, também, ter associado um refrigerador eletrónico quando o teor de vapor de água dos gases da amostra for maior do que 20% (concentrações em volume), tais como amostras encontradas durante a monitorização contínua de turbinas, caldeiras ou incineradores, e quando o instrumento está a fazer a amostragem de gases de chaminé continuamente por mais de oito horas.

Neste caso, para a realização dos ensaios foram usados dois sistemas de medição equivalentes de acordo o esquema da figura 7:

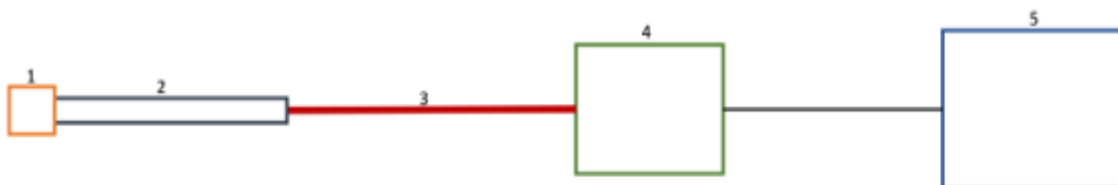


Figura 7 - Esquema do sistema amostragem (P-AMS).

Legenda:

- 1 – Filtro aquecido;
- 2 – Sonda de amostragem aquecida;
- 3 – Linha de amostragem aquecida;
- 4 – Unidade de acondicionamento de gases;
- 5 – Analisador de gases.

3.3 INFLUÊNCIA DA VIBRAÇÃO

A vibração pode definir-se como sendo um movimento alternado relativamente a uma posição de referência. A teoria da vibração estuda o movimento oscilatório de sistemas e as forças dinâmicas associadas. A oscilação da vibração é a rapidez com que se move o equipamento – frequência. A frequência

é normalmente expressa em ciclos por minuto (CPM) ou Hertz (Hz), sendo um Hz igual a um ciclo por segundo ou 60 ciclos por minuto. Outro fator importante na vibração, é a amplitude. Quanto mais desequilibrado está o equipamento, maior será a amplitude da vibração. A velocidade também pode afetar a amplitude da vibração, uma vez que, à medida que a velocidade aumenta, a força de desequilíbrio também aumenta significativamente.

A maioria dos aparelhos industriais são desenhados para operar de forma regular e a evitar as vibrações. Por conseguinte, nestes equipamentos, a vibração pode provocar problemas, levando ao seu mau funcionamento.

Assim sendo, a excitação da estrutura pode ser causada pelas ações do vento, do tráfego rodoviário ou ferroviário, do funcionamento de equipamentos, entre outras fontes existentes no local.

O estudo da influência das vibrações no desempenho destes aparelhos implica somente a colocação de sensores que registam a resposta da estrutura, salvaguardando completamente a integridade da mesma. São considerados ensaios não destrutivos (Bento, 2017).

Desta forma, o equipamento é examinado em laboratório de forma a observar se as vibrações normais afetam o seu desempenho. A metodologia usada para este teste de vibração está detalhada no Capítulo IV do presente relatório.

O sistema de vibração, representado esquematicamente na figura 8, é composto pelo excitador (*shaker*), a mesa, o amplificador de potência, o controlador de vibração, os condicionadores e os acelerómetros.

- **Excitador (*shaker*):** é responsável por transformar energia elétrica em energia mecânica (vibração). É composto por dois conjuntos de bobinas eletromagnéticas, uma de campo fixo e outra de campo alternado. A bobina de campo fixo fica presa à estrutura e é percorrida por uma corrente que estabelece um campo fixo. A bobina de campo alternado está instaladas no eixo central e recebe o sinal amplificado do controlador de vibração, produzindo a vibração.
- **Mesa:** está instalada no eixo central, onde está a bobina de campo alternado, e é sobre ela que o equipamento deve ser instalado.
- **Amplificador:** recebe o sinal de excitação do controlador de vibração e amplifica-o, enviando-o posteriormente para a bobina de campo alternado.
- **Controlador de vibração:** monitoriza e controla a vibração da mesa. O módulo de monitorização lê a vibração da mesa, através do acelerómetro, e

realimenta um comparador que verifica se a mesa está a produzir a vibração esperada.

- **Condicionadores:** recebem as leituras feitas pelos acelerómetros e amplifica-as sendo estes condicionados por uma determinada pressão. O sinal amplificado é enviado ao controlador de vibração onde, posteriormente, se interpreta o sinal do acelerómetro.

- **Acelerómetro:** sensor piezoelétrico que, ao vibrar, gera um sinal proporcional à vibração. O sinal do acelerómetro é enviado ao condicionador, que o amplifica e envia para o controlador.

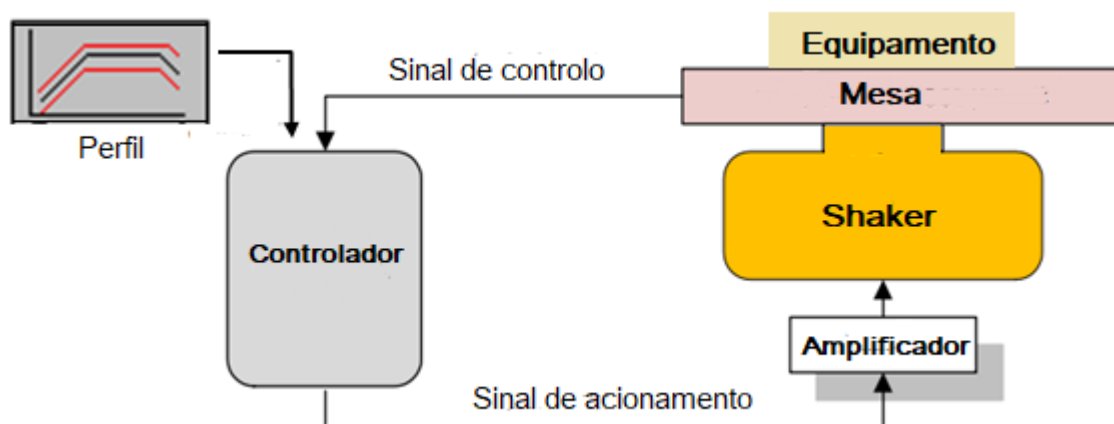


Figura 8 - Sistema de vibração.

CAPÍTULO IV. METODOLOGIA

4.1 MEDIÇÃO E CALIBRAÇÃO DO EQUIPAMENTO

Inicialmente, o equipamento é ligado, sendo necessário aguardar cerca de 60 min até ao aparecimento da tela de medição, o que indica que este estará pronto para operar. As concentrações para cinco componentes, juntamente com as taxas de fluxo da amostra, são indicadas simultaneamente no monitor. As medidas brutas são ajustadas automaticamente para a concentração de oxigénio.

Antes de se iniciar o processo de medições é necessário proceder à calibração do equipamento. Na tela de calibração é indicada a gama de analisadores e as informações de calibração zero e de extensão para todos os componentes com comandos de calibração. Na figura 9 são apresentados exemplos das telas do analisador Horiba PG 250.

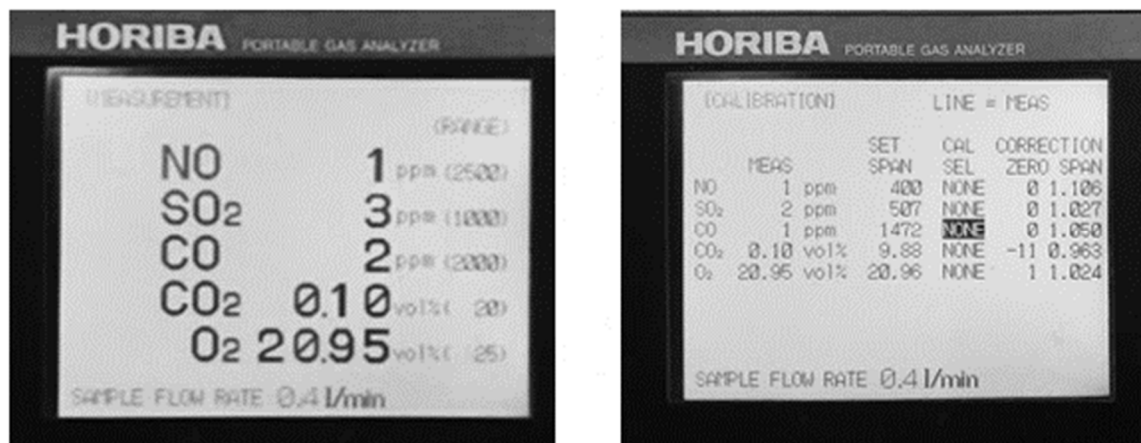


Figura 9 - Exemplo de tela de medição (à esquerda) e tela de calibração (à direita) em fase de ajustes.

Os valores de emissão dos ensaios de reprodutibilidade e influência de vibração são obtidos através do *software* de aquisição de dados, o *EDA-2000*. Este *software* permite verificar a estabilidade da concentração do gás durante o processo e, no caso da vibração, analisar se os valores obtidos se encontram dentro dos critérios de validação tendo em conta o valor limite de referência (VLR) definido inicialmente.

Os valores são visualizados no *display* de tamanho grande, atualizados a cada 5 segundos, e podem ser visualizados graficamente em tempo real. Na figura 10 encontram-se exemplos dos ecrãs do *software EDA-2000*.

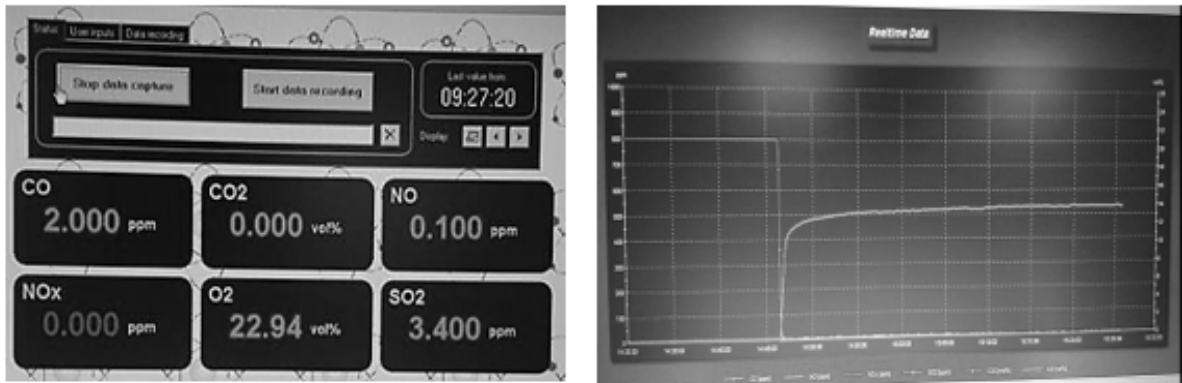


Figura 10 - Exemplo do display (à esquerda) e apresentação gráfica (à direita).

Por último, a monitorização e a obtenção dos resultados do ensaio de vibração foi observada pelo *software Dactron Shaker Control*. Este *software* permite apurar como se comporta o sensor de leitura perante as frequências e amplitudes requeridas tendo em conta a linha de perfil.

Os dados relativos às frequências e amplitudes são inseridos no *sine profile* e podem ser visualizados graficamente, em tempo real.

Na figura 11 encontram-se exemplos dos ecrãs do *software Dactron Shaker Control*.

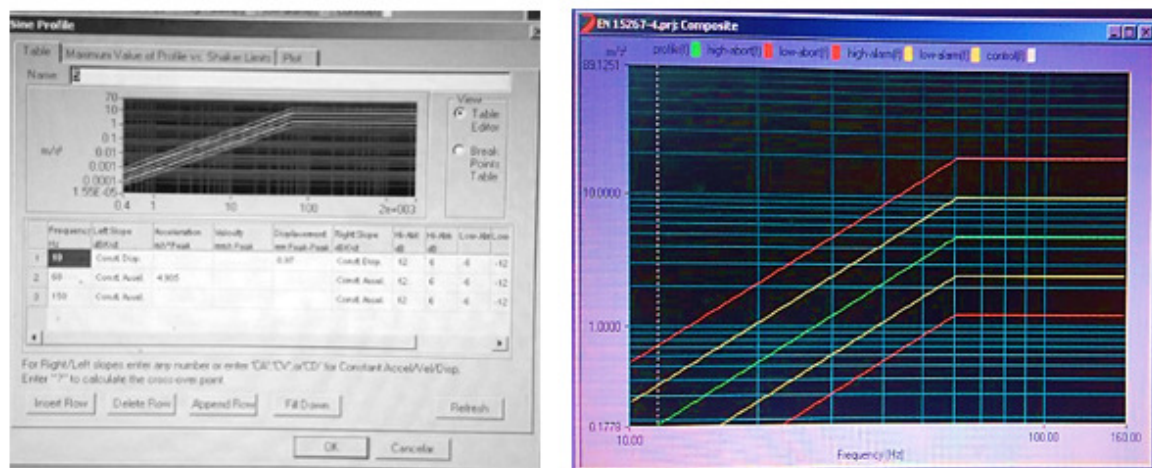


Figura 11 - Exemplo de tela do sine profile (à esquerda) e perfil de vibração (à direita).

Legenda:

- Linha branca - Sensor de leitura;
- Linha verde - Linha de perfil;
- Linha amarela - Zona intermédia;
- Linha vermelha – Zona crítica (o teste aborta e o ensaio é descartado).

4.2 REPRODUTIBILIDADE

O teste de reprodutibilidade foi realizado de acordo com o requerido pela EN 15267-4:2017, procedendo-se, para o efeito, a medições paralelas numa incineradora de resíduos sólidos urbanos, com o recurso a dois P-AMS. Foi possível validar a reprodutibilidade para os parâmetros O₂, CO, NO, SO₂.

4.2.1 Procedimento

Por razões estatísticas, a Norma EN 15267-4:2017 requer que sejam realizadas ensaios que permitam obter para cada parâmetro pelo menos 30 pares de valores. Para cada P-AMS, os valores obtidos devem ser registados individualmente, sendo posteriormente condensados em médias de 30 minutos.

Quando se obtêm os pares de valores, é utilizado o desvio padrão da diferença das medições emparelhadas, como indicado pela equação 1. A avaliação da reprodutibilidade é feita de duas formas distintas tendo em conta o parâmetro a avaliar. No caso do oxigénio, a avaliação é feita em valor absoluto da concentração volúmica medida através da equação 2. Relativamente aos restantes parâmetros, é avaliada em percentagem relativamente ao limite superior da gama de certificação (LSGC), usando as equações 2 e 3.

A norma refere que a gama de certificação deve ser em função do valor limite de exposição (VLE), tendo em conta os seguintes critérios:

- Incineradores: 1,5 x VLE;
- Grandes Instalações de Combustão: 2,5 x VLE;
- Outras instalações: VLE ou outro requisito relacionado com o processo.

Após obtenção dos pares de valores, a reprodutibilidade é calculada de acordo com as seguintes equações:

$$S_D = \sum_{i=1}^n \frac{(x_{1,i} - x_{2,i})^2}{2n} \quad \text{Equação 1}$$

Legenda:

- S_D – Desvio padrão dos pares medidos;
- n – Numero de medições paralelas;
- x_{1,i} – Concentração medida pelo P-AMS 1;
- x_{2,i} – Concentração medida pelo P-AMS 2.

$$R_{f,absoluto} = t_{n-1;0,095} \times S_d \quad \text{Equação 2}$$

Legenda:

$R_{f, \text{absoluto}}$ – Reprodutibilidade absoluta em condições de campo;
 $t_{n-1;0,95}$ – Fator *t-student* de dupla face com nível de confiança de 95% e com número de graus de liberdade n-1.

$$R_{f, \text{relativo}} = \frac{R_{f, \text{absoluto}}}{LSGC} \times 100 \quad \text{Equação 3}$$

Legenda:

$R_{f, \text{relativo}}$ – Reprodutibilidade em relação à gama de certificação;
 LSGC – Limite superior da gama de certificação.

Os P-AMS usados são constituídos pelos seguintes equipamentos:

P-AMS 1

- **Analizador de gases:** Horiba PG-250 (#2)
- **Unidade de acondicionamento da amostra**

P-AMS 2

- **Analizador de gases:** Horiba PG-250 (#3)
- **Unidade de acondicionamento da amostra**

4.2.2 Parâmetros e requisitos

Desta forma, para a reprodutibilidade ser validada é necessário cumprir os requisitos indicados na tabela 6 para os parâmetros a analisar.

Tabela 6 - Síntese dos requisitos de reprodutibilidade.

Parâmetro	VLE	Gama de Certificação	Unidades	Requisito a verificar
O ₂	-	0 - 21	%, vol.	$R_{f \text{ absoluto}} \leq 0,20 \%$, vol
CO	867*	0 – 1300	ppm	$R_{f \text{ relativo}} \leq 3,3 \%$
NO	267	0 – 400	ppm	$R_{f \text{ relativo}} \leq 3,3 \%$
SO ₂	67	0 -100	ppm	$R_{f \text{ relativo}} \leq 3,3 \%$

* Parâmetro sem VLE. Considerando VLE do regime geral

4.3 INFLUÊNCIA DA VIBRAÇÃO

Os testes de vibração foram realizados de acordo com o exigido pelas normas EN 15267-4:2017 e EN 60068-2-6, e efetuados no laboratório de ensaios do LIQ –

Laboratório Industrial da Qualidade, localizado no concelho de Águeda, distrito de Aveiro. Foi possível validar a influência da vibração para os parâmetros pretendidos para os três eixos (x,y z).

Foi montado o *kit* de padrões de constituintes gasosos (figura 12), constituído por botijas de gás e reguladores ajustáveis de pressão. Neste caso, foram instaladas três botijas de gás de cada parâmetro, exceto para o O₂ em que se utilizou o oxigénio atmosférico em condições normais do laboratório, e uma botija de azoto. Cada gás é continuamente injetado no equipamento enquanto este se encontra a vibrar.

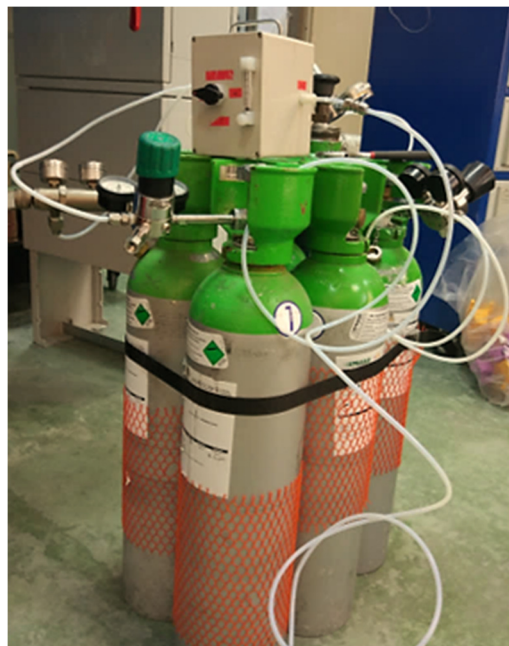


Figura 12 - Kit de padrões.

O sistema de medição foi montado de acordo com a orientação normal de funcionamento durante o ensaio de vibração (figura 13).

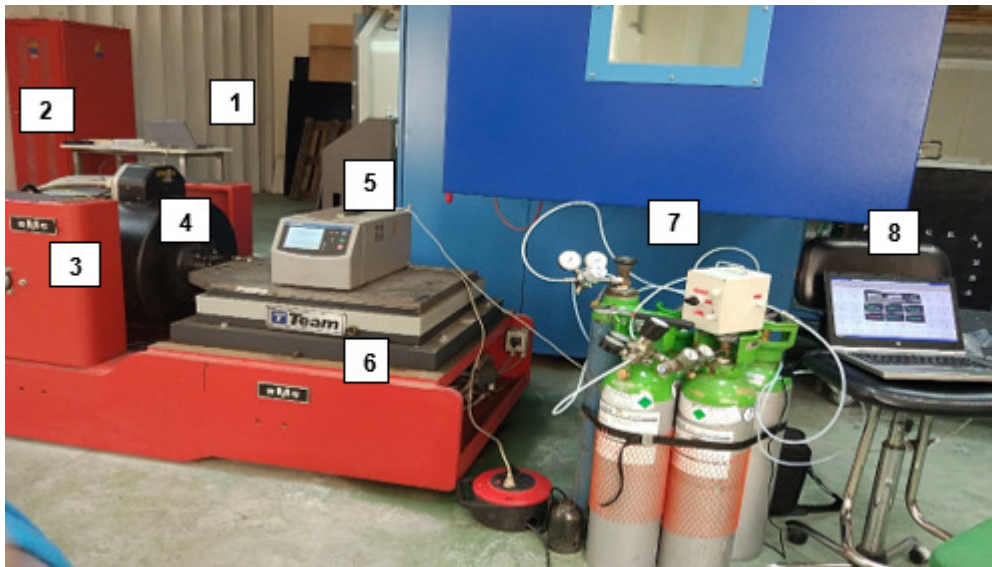


Figura 13 – Exemplo de um sistema montado para o eixo do X.

Legenda:

- 1 – Computador controlador do perfil de vibração;
- 2 – Amplificador;
- 3 – Excitador (shaker);
- 4 – Acelerómetro (sensor);
- 5 – Equipamento;
- 6 – Mesa;
- 7 – Kit de medidores gasosos;
- 8 – Computador controlador do perfil de concentração dos parâmetros.

O P-AMS usado possui as seguintes características:

- **Analizador de gases:** Horiba PG-250 (#2)
- **Dimensão:** 260(W) × 510(D) × 260(H)mm
- **Massa:** Aproximadamente 17kg.

4.3.1 Procedimento

Os testes de vibração devem ser realizados de acordo com a norma EN 60068-2-6 a qual determina que estes sejam realizados numa gama de frequência de 10 Hz a 150 Hz, aumentando continuamente, tendo em conta os seguintes critérios:

- Frequências de 10 Hz a 60 Hz: amplitude máxima de 0,35 mm;
- Frequências de 60 Hz a 150 Hz: aceleração constante de 4,91 m/s²;
- Duração de resistência: 10 ciclos por cada eixo (x,y,z) e parâmetro.

Durante os ensaios, cada gás foi injetado tendo em conta o valor limite de Referência (VLR) definido pelas especificações de cada garrafa, ou seja, as medições realizadas foram aproximadas a um valor de referência. Após obtenção dos valores, foram determinados as médias e os desvios das leituras, sem e com vibração, verificando, posteriormente, se os valores obtidos no ensaio com vibração cumprem os critérios de desempenho definidos.

4.3.2 Parâmetros e requisitos

Para a Influência da vibração ser validada é necessário cumprir os requisitos indicados na tabela 7 para os parâmetros a analisar.

Tabela 7 - Síntese dos requisitos de vibração.

Parâmetro	VLR	Unidades	Requisito a verificar
O₂	20,9	%, vol	≤ 0,20 %
CO	1471,7	ppm	≤ 2,0 %
NO	787,2	ppm	≤ 2,0 %
SO₂	506,9	ppm	≤ 2,0 %

4.4 INCERTEZA COMBINADA E GLOBAL EXPANDIDA

O objetivo de qualquer medição é obter o verdadeiro valor, no entanto existe sempre incertezas associadas às medições efetuadas. Posto isto, são calculadas a incerteza combinada e a global expandida para cada parâmetro, tendo em conta a EN 15267-4:2017 e a EN ISO 14956. O P-AMS depende do gás de teste para garantia e controlo contínuos de qualidade. Portanto, a incerteza do gás nos ensaios é incluída nos cálculos de incerteza.

4.4.1 Incerteza Combinada

A incerteza combinada (U_c) deve ser determinada pela equação 4, através da qual se somam as contribuições da incerteza das características de desempenho do equipamento em estudo.

$$U_c = \sqrt{\sum_{i=1}^N U_i^2} \quad \text{Equação 4}$$

Legenda:

U_i – Soma das contribuições de incerteza da reprodutibilidade e da influência de vibração;

As incertezas-padrão para cada característica de desempenho (U_i) são calculadas de acordo com a norma EN ISO 14956, através da equação 5.

$$U_i = \frac{\sqrt{(x_{i,min} - x_{i,adj}) + (x_{i,max} - x_{i,adj})^2 \times (x_{i,max} - x_{i,adj}) + (x_{i,min} - x_{i,adj})^2}}{3} \quad \text{Equação 5}$$

Legenda:

$X_{i,min}$ – Valor mínimo da leitura média influenciada pela característica de desempenho i ;

$X_{i,máx}$ - Valor máximo da leitura média influenciada pela característica de desempenho i ;

$X_{i,adj}$ – Valor da leitura média com a grandeza de influência ao seu valor nominal durante o ajustamento.

No entanto, a fórmula pode ser simplificada nos seguintes casos:

- Se o valor $x_{i,adj}$ estiver no centro do intervalo delimitado pelo valor máximo $x_{i,max}$ e o valor mínimo $x_{i,min}$ de todos os valores x_i , então a incerteza padrão é dada pela seguinte equação.

$$U_i = \frac{(x_{i,max} - x_{i,min})}{\sqrt{12}} \quad \text{Equação 5.1}$$

- Se os valores absolutos do desvio acima e abaixo do valor central forem expressos por Δx_i , então a incerteza padrão é dada:

$$\Delta x_i = |x_{i,max} - x_{i,adj}| = |x_{i,min} - x_{i,adj}|$$

$$U_i = \frac{\Delta x_i}{\sqrt{3}} \quad \text{Equação 5.2}$$

- Se o valor de $x_{i,adj}$ é o mesmo que $x_{i,min}$ ou $x_{i,max}$, então a incerteza padrão é dada:

$$U_i = \frac{(x_{i,máx} - x_{i,min})}{\sqrt{3}} \quad \text{Equação 5.3}$$

Para realizar o cálculo das incertezas para o ensaio da vibração foi usada a equação 5.1, uma vez que o valor $x_{i,adj}$ está no centro do intervalo delimitado para

o ensaio de reprodutibilidade, foi usado o valor do desvio padrão, S_D , que é usado nos cálculos, uma vez que é maior que o desvio padrão de medições paralelas em condições de campo.

4.4.2 Incerteza Global Expandida

A incerteza global expandida (U) deve ser determinada utilizando a seguinte equação.

$$U_{0,95\%} = 1,96 \times U_c \quad \text{Equação 6}$$

Segundo a EN 15267-4:2017, o fator 1,96 pode ser usado desde que o número de medições para determinar a contribuição da incerteza e o número associado de graus de liberdade seja suficientemente alto.

CAPÍTULO V. ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

5.1 VERIFICAÇÃO DOS REQUISITOS DE PERFORMANCE

5.1.1 Reprodutibilidade

Os valores que permitiram o tratamento de dados da reprodutibilidade encontram-se nas secções seguintes do relatório. O registo dos 30 pares de valores de cada parâmetro encontra-se nos Anexos.

5.1.1.1 Oxigénio (O₂)

Os resultados obtidos para a reprodutibilidade do O₂ são apresentados na tabela 8 e no gráfico 1.

Tabela 8 - Resumo dos resultados de reprodutibilidade do O₂.

Composto:		Oxigénio			
P-AMS₁:		Horiba PG-250 (#2)			
P-AMS₂:		Horiba PG-250 (#3)			
Data de Medição:	23/04/2018	a		27/04/2018	
Gama de Certificação		=	0	-	21 % vol
Gama de Concentração Medida	AMS ₁	=	10,60	-	14,88 % vol
Gama de Concentração Medida	AMS ₂	=	10,64	-	14,97 % vol
Valor Médio	AMS ₁	=	12,497		% vol
Valor Médio	AMS ₂	=	12,563		% vol
$y=b.x + c$	Declive	b	=	1,013	
	Ordenada na origem	c	=	-0,081	% vol
Coeficiente de Determinação	R ²	=	0,999		
	Critério	R² ≥ 0,90			VÁLIDO
Número medições	n	=	30		
t-value	t _{n-1;0,95}	=	1,699		
Desvio Padrão das Medições Paralelas	S _D	=	0,063		% vol
Reprodutibilidade	R _f absoluto	=	0,107		%
Critério	R_f ≤ 0,20%				VÁLIDO

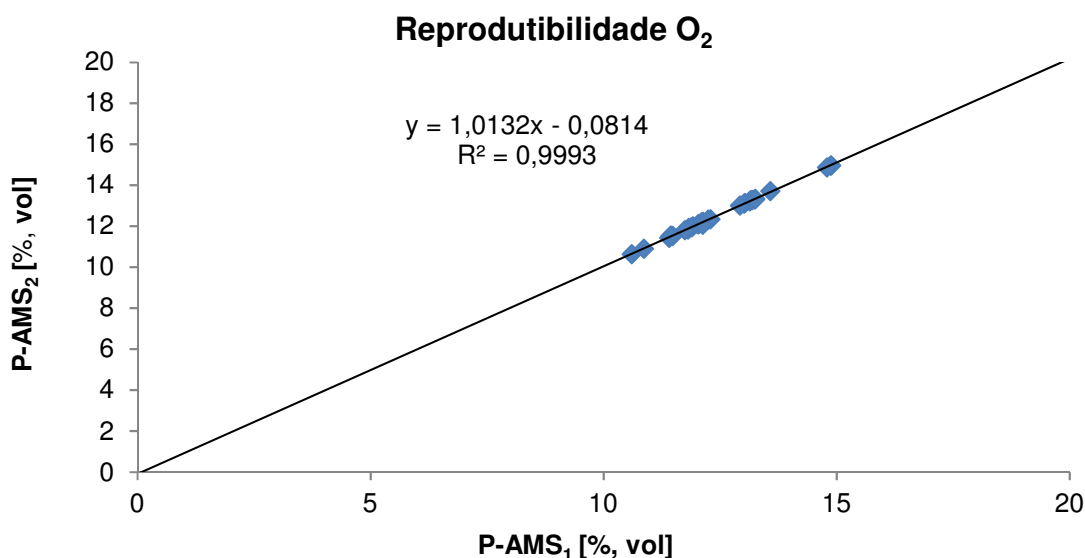


Gráfico 1 - Pares dos valores de O₂ medidos (P-AMS₁ vs P-AMS₂).

Através dos resultados obtidos, verificou-se que o O₂ cumpre o critério definido pela norma, uma vez que o requisito a cumprir é o $R_{f, \text{absoluto}}$ ser inferior a 0,20%, enquanto o valor obtido foi de 0,107%. O valor do $R_{f, \text{absoluto}}$ e o valor de desvio padrão dos valores das concentrações medidas, S_d igual a 0,063%, não sofreram variações significativas entre as concentrações das medições paralelas e em relação ao valor da gama de certificação. Isto já era de esperar uma vez que os intervalos dos valores de concentração da gama medida de cada um dos equipamentos são muito próximos. Através da representação gráfica, observa-se que os pares de valores apresentam um bom ajuste da reta.

Deste modo, conclui-se que o parâmetro, O₂, cumpre os requisitos para este ensaio.

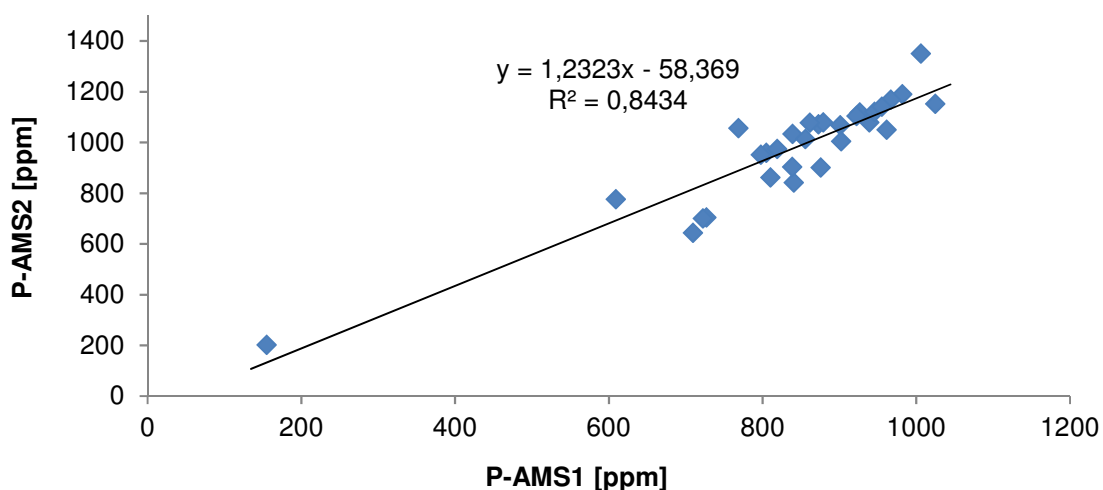
5.1.1.2 Monóxido de Carbono (CO)

Os resultados obtidos para a reprodutibilidade do CO são apresentados na tabela 9 e no gráfico 2.

Tabela 9 - Resumo dos resultados de reprodutibilidade do CO.

Composto:		Monóxido de Carbono			
P-AMS₁:		Horiba PG-250 (#2)			
P-AMS₂:		Horiba PG-250 (#3)			
Data de Medição:		23/04/2018	a	27/04/2018	
Gama de Certificação		=	0	- 1300	ppm
Gama de Concentração					
Medida	AMS ₁	=	154,45	- 1024,30	ppm
Gama de Concentração					
Medida	AMS ₂	=	202,00	- 1351,20	ppm
Valor Médio	AMS ₁	=	840,331		ppm
Valor Médio	AMS ₂	=	977,180		ppm
$y=b.x + c$	Declive	b	=	1,232	
	Ordenada na origem	c	=	-58,369	ppm
Coeficiente de Determinação		R ²	=	0,843	
	Critério	R² ≥ 0,90		INVÁLIDO	
Número medições		n	=	30	
t-value		t _{n-1;0,95}	=	1,699	
Desvio Padrão das Medições Paralelas		S _D	=	116,442	ppm
Reprodutibilidade		R _{f, absoluto}	=	197,835	ppm
		R _{f relativo}	=	0,131	%
	Critério	R_f ≤ 3,3%		VÁLIDO	

Reprodutibilidade CO

Gráfico 2 - Pares dos valores de CO medidos (P-AMS₁ vs P-AMS₂).

Quanto ao $R_{f, relativo}$, o CO cumpre o critério definido pela norma uma vez que é muito inferior a 3,3%, cerca de 0,13%. Analisando a linearidade, o CO é um parâmetro crítico em medições de campo, devido à sua grande oscilação e flutuabilidade, o que o torna muito instável. Isto comprova-se verificando o valor de

desvio padrão dos pares de valores, que é igual a 116,44 ppm. No gráfico 2 nota-se a existência da disparidade de valores, fazendo com o que ajuste da reta não seja o melhor ($R^2 \leq 0,90$).

Conclui-se que o parâmetro, CO, cumpre os requisitos da reprodutibilidade.

5.1.1.3 Monóxido de Azoto (NO)

Os resultados obtidos para a reprodutibilidade do NO estão apresentados na tabela 10 e no gráfico 3.

Tabela 10 - Resumo dos resultados de reprodutibilidade do NO.

Composto:		Monóxido de Azoto			
P-AMS₁:		Horiba PG-250 (#2)			
P-AMS₂:		Horiba PG-250 (#3)			
Data de Medição:		23/04/2018	a	27/04/2018	
Gama de Certificação		=	0	-	400 ppm
Gama de Concentração					
Medida		AMS ₁	=	59,29	- 274,59 ppm
Gama de Concentração					
Medida		AMS ₂	=	57,55	- 269,07 ppm
Valor Médio		AMS ₁	=	155,944	ppm
Valor Médio		AMS ₂	=	151,129	ppm
$y=b.x + c$	Declive	b	=	0,984	
	Ordenada na origem	c	=	-2,390	ppm
Coeficiente de Determinação		R ²	=	0,998	
	Critério	R² ≥ 0,90		VÁLIDO	
Número medições		n	=	30	
t-value		t _{n-1;0,95}	=	1,699	
Desvio Padrão das Medições Paralelas		S _D	=	3,771	ppm
Reprodutibilidade		R _f absoluto		6,305	ppm
		R _f relativo	=	0,425	%
	Critério	R_f ≤ 3,3%		VÁLIDO	

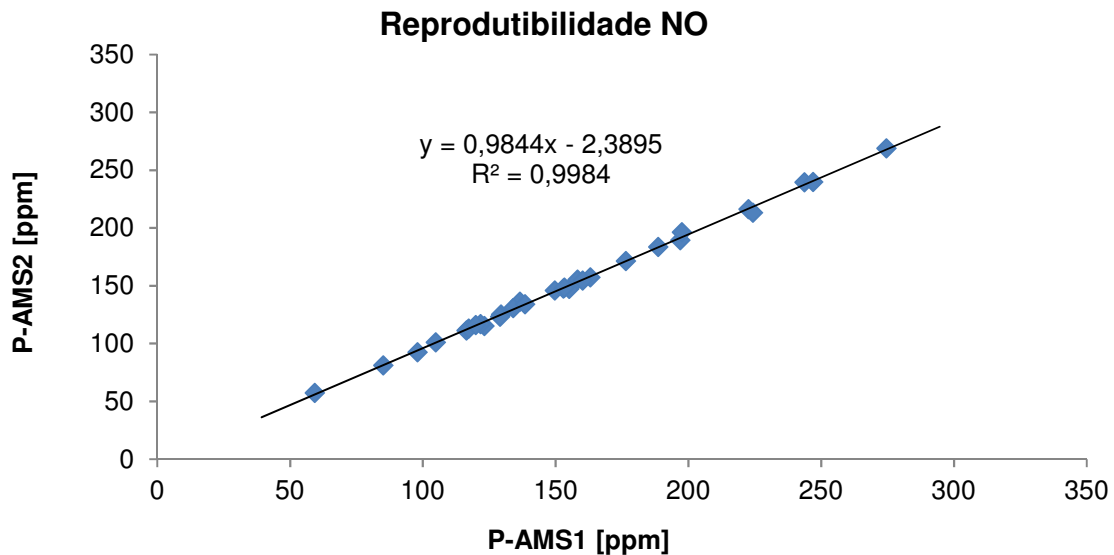


Gráfico 3 - Pares dos valores de NO medidos ($P\text{-AMS}_1$ vs $P\text{-AMS}_2$).

Ao analisar o NO, verifica-se que o gás tem o mesmo comportamento que o O_2 , cumprindo o requisito, uma vez que o $R_{f, \text{relativo}}$ é igual a 0,43%, muito inferior aos 3,3% exigidos. Obteve-se, também, um desvio-padrão muito favorável, S_d igual 3,77 ppm, entre pares de valores medidos. Este fator permite observar, através do gráfico 3, o bom ajuste dos valores à reta logo comprovando que os equipamentos tiveram um bom desempenho ao fornecer as concentrações deste parâmetro.

Deste modo conclui-se que o parâmetro NO cumpre os requisitos para este ensaio.

5.1.1.4 Dióxido de Enxofre (SO_2)

Os resultados obtidos de reprodutibilidade do SO_2 são apresentados na tabela 11 e no gráfico 4.

Tabela 11 - Resumo dos resultados de reprodutibilidade do SO₂.

Composto:		Dióxido de Enxofre			
P-AMS₁:		Horiba PG-250 (#2)			
P-AMS₂:		Horiba PG-250 (#3)			
Data de Medição:		23/04/2018	a	27/04/2018	
Gama de Certificação		=	0	-	100 ppm
Gama de Concentração					
Medida	AMS ₁	=	0,49	-	8,73 ppm
Gama de Concentração					
Medida	AMS ₂	=	2,42	-	10,27 ppm
Valor Médio	AMS ₁	=	2,127		ppm
Valor Médio	AMS ₂	=	3,981		ppm
$y=b.x + c$	Declive	b	=	0,753	
	Ordenada na origem	c	=	2,380 ppm	
Coeficiente de Determinação		R ²	=	0,663	
	Critério	R² ≥ 0,90		INVÁLIDO	
Número medições		n	=	30	
t-value		t _{n-1;0,95}	=	1,699	
Desvio Padrão das Medições Paralelas		S _D	=	1,465	ppm
Reprodutibilidade		R _{f, absoluto}		2,488	ppm
		R _{f, relativo}	=	1,699	%
	Critério	R_f ≤ 3,3%		VÁLIDO	

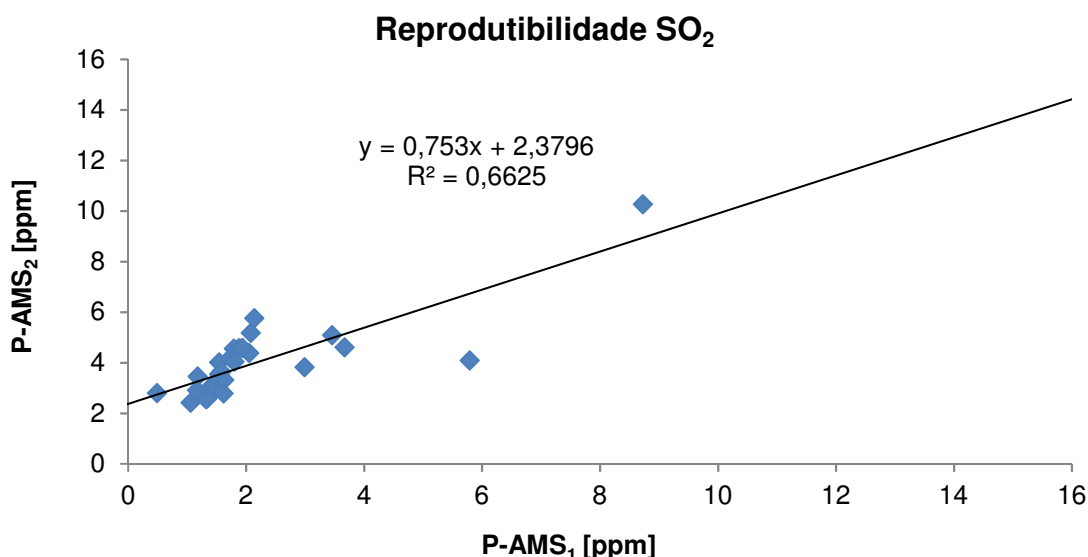


Gráfico 4 - Pares dos valores de SO₂ medidos (P-AMS₁ vs P-AMS₂).

Verificou-se que o SO₂ apresenta um R_{f, relativo} de 1,70%, inferior ao critério de validação, no entanto muito alto, quando comparado com os outros gases. Verifica-se que o S_d é igual a 1,47 ppm, o que pode ser considerado muito significativo tendo em conta a gama da contração medida pelos equipamentos. Analisando a

linearidade, nota-se que o ajuste de linha para os dados não é muito favorável, uma vez que existe uma grande variação entre os pares de valor medidos, dando origem à sua disparidade.

Tendo em conta os valores obtidos de reprodutibilidade, conclui-se que o parâmetro SO₂, cumpre os requisitos para este ensaio.

5.1.1.5 Síntese dos resultados

Na tabela seguinte, tabela 12, apresenta-se a síntese dos resultados para os parâmetros auditados.

Tabela 12 - Síntese dos resultados dos ensaios de reprodutibilidade.

Parâmetro	LSGC	Resultados		Critério de validação	Avaliação
		R _f absoluto	R _f relativo		
O ₂	21 %, vol	0,11%	-	R _f absoluto ≤ 0,20%, vol	VÁLIDO
CO	1300 ppm	197,84 ppm	0,13 %	R _f relativo ≤ 3,3 %	VÁLIDO
NO	400 ppm	6,31 ppm	0,43 %	R _f relativo ≤ 3,3 %	VÁLIDO
SO ₂	100 ppm	2,49 ppm	1,70 %	R _f relativo ≤ 3,3 %	VÁLIDO

Analisando a tabela anterior, apesar de todos os parâmetros cumprirem o critério de validação requeridos pela norma EN 15267-4:2017, o O₂ e o SO₂ são os parâmetros que se encontram mais próximos de alcançar o valor limite.

5.1.2 Influência de Vibração

Inicialmente, nos gráficos de perfil de vibração fornecidos pelo *software Dactron Shaker Control*, observaram-se perturbações nos instantes iniciais em frequências até aos 15Hz. Isto ficou a dever-se ao tempo de arranque da mesa vibratória e, também, por se tratar de frequências muito baixas, ao fenómeno de ressonância, em que um sistema vibratório ou força externa conduz outro sistema a oscilar com maior amplitude em frequências específicas.

Os valores que permitiram o tratamento de dados da influência de vibração encontram-se nas secções seguintes do relatório. Os gráficos de perfil de vibração de cada parâmetro encontram-se nos Anexos.

5.1.2.1 Oxigénio (O₂)

Os resultados obtidos para a vibração do O₂ são apresentados na tabela 13 e no gráfico 5.

Tabela 13 - Resumo dos resultados de vibração do O₂.

Eixos	Sem vibração		Média	Desvio Padrão
	Instantes iniciais	Instantes finais		
x	20,732	20,767	20,749	0,025
y	20,800	20,776	20,788	0,017
z	20,945	20,864	20,905	0,057

Eixos	Vibração	Intervalo	Validade
x	20,773	[20,71:20,79]	0,113
y	20,784	[20,75:20,79]	0,020
z	20,904	[20,86:20,90]	0,002

<0,2%, vol de variação

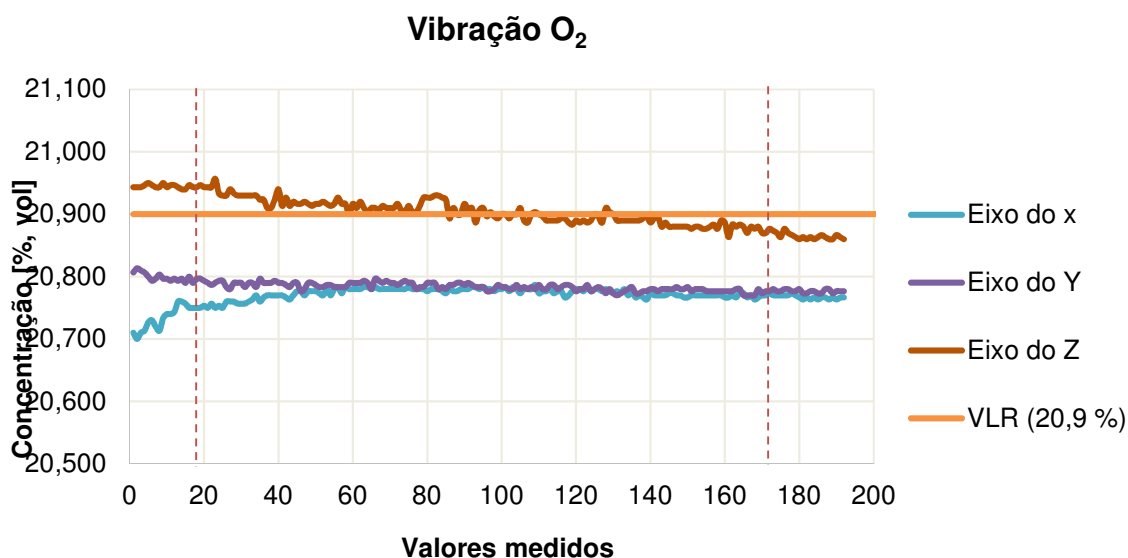


Gráfico 5 -Valores de O₂ medidos.

Fazendo a análise da tabelas e do gráfico, observa-se que tanto para os instantes iniciais e finais sem vibração e com vibração, marcados a delineados na vertical no gráfico, verifica-se que estes estão um pouco afastados do VLR. Para contornar estas situação devia-se ter esperado mais tempo para que os resultados estabilizassem. Nota-se que foi no eixo do z que os valores oscilaram mais durante o tempo de vibração. Nos outros eixos, x e y, e nos instantes iniciais, as concentrações de O₂ sofreram pequenas variações mas posteriormente mantiveram-se praticamente constantes

No entanto, este parâmetro cumpre o critério definido inicialmente, uma vez que o valor medido de concentração não sofreu uma variação superior a 0,2% vol face ao valor médio sem vibração. Logo, pode-se concluir que a vibração não teve interferência na medição do O₂.

5.1.2.2 Monóxido de Carbono (CO)

Os resultados obtidos para a vibração do CO são apresentados na tabela 14 e no gráfico 6.

Tabela 14 - Resumo dos resultados de vibração do CO.

Eixos	Sem vibração		Média	Desvio Padrão
	Instantes iniciais	Instantes finais		
x	1495,333	1495,733	1495,533	0,283
y	1474,817	1462,650	1468,733	8,603
z	1474,143	1472,933	1473,538	0,855

Eixos	Vibração	Intervalo		Validade
x	1499,963	[1492,542:1498,524]	0,295	VÁLIDO
y	1463,923	[1465,796:1468,733]	0,329	VÁLIDO
z	1482,802	[1470,591:1473,538]	0,625	VÁLIDO

<2,0% de variação

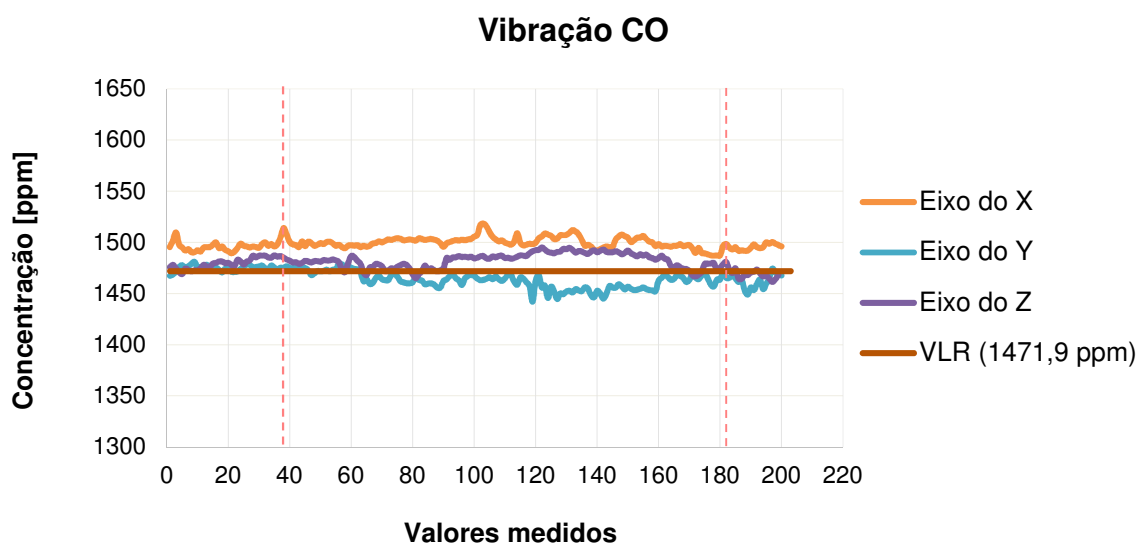


Gráfico 6 - Valores de CO medidos.

Analisando o perfil de vibração do CO, nota-se que os ensaios cumprem os critérios definidos para a validação, ou seja, uma variação menor do que 2,0%.

Consegue-se observar que, apesar dos valores estarem muito próximos do VLR e serem aproximadamente estáveis, existe uma pequena variação entre eles.

Pode-se dizer que, nestes três ensaios, o desvio entre os valores é maior no eixo do y, quando o equipamento está a medir sem qualquer tipo de vibrações.

Pode concluir-se que a vibração não teve interferência relevante na medição do CO.

5.1.2.3 Monóxido de Azoto (NO)

Os resultados obtidos para a vibração do NO são apresentados na tabela 15 e no gráfico 7.

Tabela 15 - Resumo dos resultados de vibração do NO.

Eixos	Sem vibração		Média	Desvio Padrão
	Instantes iniciais	Instantes finais		
x	796,536	787,381	791,959	6,474
y	786,246	801,167	793,707	10,550
z	789,565	796,606	793,086	4,979

Eixos	Vibração	Intervalo	Validade
x	789,852	[790,375:793,543]	0,267
y	794,417	[792,119:793,707]	0,089
z	792,202	[791,499:793,086]	0,112

<2,0% de variação

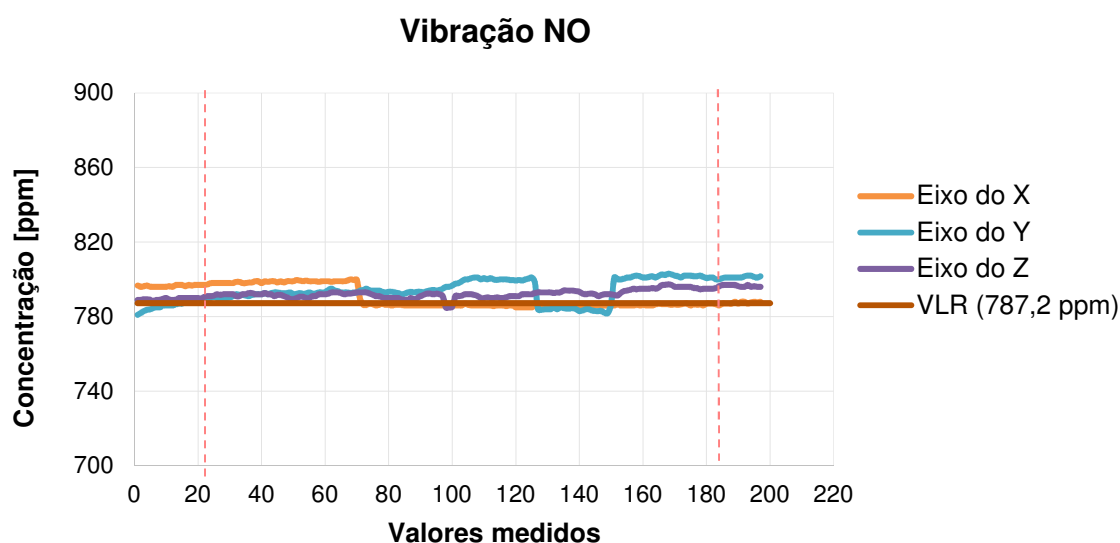


Gráfico 7 - Valores de NO medidos.

O perfil de vibração do NO tem um bom comportamento, mais linear do que o CO, observando-se que os valores medidos não sofreram alterações significativas

nos instantes com vibração. As oscilações entre alguns valores não são preocupantes pois a maior variação que existe é menor do que 2,0%, o que indica que cumpre os requisitos que se pretendiam alcançar.

Quanto à influência de vibração, confirma-se que as medições de NO não foram significativamente afetadas pela vibração.

5.1.2.4 Dióxido de Enxofre (SO₂)

Os resultados obtidos para a vibração do SO₂ são apresentados na tabela 16 e no gráfico 8.

Tabela 16 - Resumo dos resultados de vibração do SO₂.

Eixos	Sem vibração		Média	Desvio Padrão
	Instantes iniciais	Instantes finais		
x	510,463	530,899	520,681	14,450
y	509,370	531,449	520,410	15,612
z	491,148	522,420	506,784	22,113

Eixos	Vibração	Intervalo	Validade
x	525,538	[519,639:521,722]	0,924
y	527,185	[519,369:520,410]	1,285
z	514,358	[505,771:506,784]	1,473

<2,0% de variação

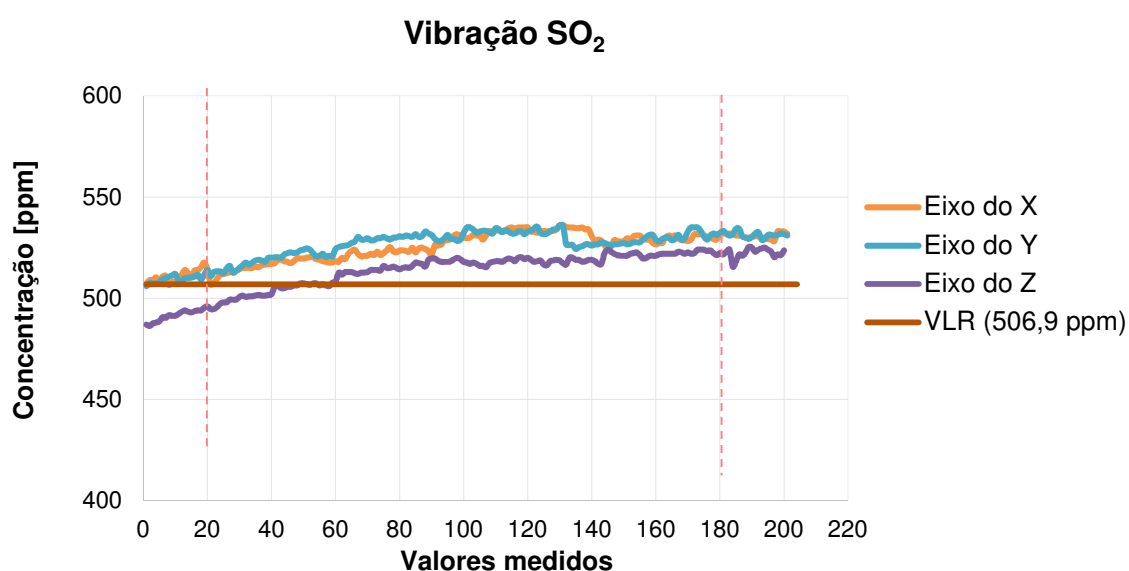


Gráfico 8 - Valores de SO₂ medidos.

Fazendo a análise do perfil de vibração, este parâmetro foi o que sofreu mais variações entre os valores. Verifica-se o aumento contínuo da concentração das medições, não existindo momentos de estabilização.

No entanto, tendo em conta o critério de influência de vibração onde a variação permitida para este parâmetro é de 2,0%, comprova-se que todos os eixos cumprem o requisito face às leituras médias de valores.

Em suma, a vibração não tem uma influência significativa nos valores das concentrações de SO₂ fornecidos pelo equipamento..

5.1.2.5 Síntese dos resultados

Na tabela seguinte, tabela 17, apresenta-se a síntese dos resultados para os parâmetros auditados.

Tabela 17 - Síntese dos resultados dos ensaios.

Parâmetro	VLR	Resultados			Critério de validação	Avaliação
		Eixo x	Eixo y	Eixo z		
O ₂	20,9 %, vol	0,113	0,020	0,002	≤ 0,20%, vol	VÁLIDO
CO	1471,7 ppm	0,295	0,329	0,625	≤ 2,0 %	VÁLIDO
NO	787,2 ppm	0,27	0,09	0,11	≤ 2,0 %	VÁLIDO
SO ₂	506,9 ppm	0,924	1,285	1,473	≤ 2,0 %	VÁLIDO

Todos os parâmetros cumprem o critério de validação requeridos pela norma EN 15267-4:2017.

5.2 CÁLCULO DA INCERTEZA COMBINADA E GLOBAL EXPANDIDA

Foram calculadas as incertezas para cada parâmetro e para cada característica de desempenho. Os resultados encontram-se nas tabelas seguintes.

Tabela 18 – Incertezas calculadas para o O₂.

Características de desempenho		Teste	
Oxigénio (O₂)			
Características de certificação		0 a 20,9	%vol
Incertezas-padrão	U _{reprodutibilidade}	0,063	
	U _{vibração}	0,027	%vol
Incerteza combinada	U _c	0,090	%vol
Incerteza global expandida	U _{0,95%}	0,176	%vol

Tabela 19 - Incertezas calculadas para o CO.

Monóxido de Carbono (CO)			
Características de certificação		0 a 1300	ppm
Valor Limite de Exposição	VLE	867	ppm
Incertezas-padrão	U _{reprodutibilidade}	116,442	ppm
	U _{vibração}	10,68	ppm
Incerteza combinada	U _c	127,123	ppm
Incerteza global expandida	U _{0,95%}	249,161	ppm

Tabela 20 - Incertezas calculadas para o NO.

Monóxido de Azoto (NO)			
Características de certificação		0 a 400	ppm
Valor Limite de Exposição	VLE	267	ppm
Incertezas-padrão	U _{reprodutibilidade}	3,771	ppm
	U _{vibração}	6,062	ppm
Incerteza combinada	U _c	9,833	ppm
Incerteza global expandida	U _{0,95%}	19,273	ppm

Tabela 21 - Incertezas calculadas para o SO₂.

Dióxido de Enxofre (SO₂)			
Valor Limite de Exposição		0 a 100	ppm
Incertezas-padrão	VLE	67	ppm
	U _{reprodutibilidade}	1,465	ppm
Incerteza combinada	U _{vibração}	8,468	ppm
Incerteza global expandida	U _c	9,933	ppm
Incerteza expandida relativa	U _{0,95%}	19,468	ppm

CAPÍTULO VI. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O aumento da consciencialização da população relativamente aos problemas de qualidade do ar, combinado com o desenvolvimento de novas tecnologias, permitiu a adoção de novas abordagens no que se refere à monitorização da qualidade do ar. Adotar métodos para a monitorização da qualidade do ar pode representar uma solução para superar a falta de cobertura espacial verificada na utilização de métodos de referência.

Da análise efetuada aos resultados obtidos, verificou-se que o todos os parâmetros cumprem os critérios de validação para a reprodutibilidade, apesar dos parâmetros CO e SO₂ possuírem um desvio padrão e um ajuste de reta com mais variações significativas entre os pares medidos. No entanto, entre estes dois parâmetros o CO é o que apresenta um melhor comportamento.

No que diz respeito à influência da vibração, as alterações da temperatura e humidade relativa influenciaram a disparidade na resposta de sensores do equipamento. Esta disparidade já era esperada devido à natureza do mecanismo de deteção utilizado. Os sensores existentes no Horiba PG 250 têm propriedades físicas que necessitam de parâmetros operacionais relativamente estáveis para continuarem eficazes. Assim, existiram sensores que falharam, devido às condições de humidade e temperatura, como foi o caso do SO₂, em que a humidade relativa influenciou os valores de concentrações do gás. Quanto ao O₂, alguns valores podem ou não terem sido influenciados, devido ao facto da bomba da mesa de vibração conter uma bobina eletromagnética. Como o método de medição do O₂ é o paramagnético, obtém-se, portanto, um campo magnético. Mas outro campo é gerado com a bobina, fazendo com que as moléculas de oxigénio se comportem de uma maneira desordenada, influenciando, desta forma, os resultados de concentrações do gás. Este problema é facilmente contornável se for usado outro tipo de bobina. Neste caso particular, como era a única mesa de vibração disponível, os testes foram realizados nestas condições. No entanto, apesar destes fatores externos, os critérios de validação foram cumpridos para todos os parâmetros.

Relembrando o objetivo principal, com este trabalho pretendia-se estudar a *performance* do Horiba modelo PG 250, tendo em conta os critérios requeridos pela

norma EN 15267-4:2017 para os ensaios de “reprodutibilidade” e de “influência de vibração”, com o intuito de avaliar a sua aptidão. Após a análise dos resultados, verifica-se que os critérios de validação do ensaio de “reprodutibilidade” e “influência de vibração” são cumpridos em todos os parâmetros.

Por outras palavras, conclui-se que, para os parâmetros avaliados, O₂, CO, NO e SO₂, o sistema cumpre os requisitos referentes à “reprodutibilidade” e “influência de vibração” definidos na Norma EN 15267-4:2017.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Amorim, M. - **Avaliação de Sensores de Baixo Custo e de Métodos de Referência para a Monitorização da Qualidade do Ar**. Dissertação apresentada à Universidade de Aveiro para a obtenção de Grau de Mestre em Engenharia do Ambiente. Aveiro: Universidade de Aveiro, 2015.

APA (2018). **Qualidade do Ar Ambiente**. [Consult. 10 janeiro 2018]. Disponível na internet: <URL: www.apambiente.pt/index.php?ref=16&subref=82&sub2ref=316>

Barbarini, F.; Naturesa, J. S.; Gonçalves, L.; Von, R. - **Vibrações e Acelerômetros**. Trabalho realizado no âmbito da disciplina de Processamento e Análise de Sinais. Brasil: Universidade Estadual de Campinas – Unicamp – Prominp, 2007.

Bento, J. (2017) – **Avaliação do Comportamento Estrutural da Capela do Fundador-Mosteiro da Batalha**. Escola Superior de Tecnologia e Gestão. Dissertação apresentada ao Instituto Politécnico de Leiria para obtenção do grau de Mestre em Construções Civas: Leiria., 2017

CEN/TS 17021:2012 “Stationary source emissions - Determination of the mass concentration of sulphur dioxide by instrumental techniques”.

Decreto-Lei nº 127/2013, do Ministério da Agricultura, do Mar, do Ambiente e do Ordenamento do Território, de 30 de Agosto de 2013, estabelece o regime de emissões industriais aplicável à prevenção e ao controlo integrados da poluição, bem como as regras destinadas a evitar e ou reduzir as emissões para o ar, a água e o solo e a produção de resíduos, a fim de alcançar um elevado nível de proteção do ambiente no seu todo.

Diretiva 2010/75 /UE do Parlamento Europeu e do Conselho, de 24 de novembro de 2010, relativa às emissões industriais (prevenção e controlo integrados da poluição).

European Commission (2003) - **Reference Document on The General Principles of Monitoring**, 2003. IPPC Bureau.

EEA, European Environment Agency - **Air quality in Europe: 2014 report**. Luxembourg: Publications Office of the European Union, 2014. ISBN: 978-92-9213-490-7.

EN ISO 9169:2006 “Qualidade do ar- Definição e determinação das características de desempenho de um sistema de medição automático”.

EN ISO 14956:2002 “Qualidade do ar - Avaliação da adequação de um procedimento de medição por comparação com uma incerteza de medição requerida”

EN 14789:2017 “Stationary source emissions - Determination of volume concentration of oxygen - Standard reference method: paramagnetism”.

EN 14792:2017 “Stationary source emissions - Determination of mass concentration of nitrogen oxides - Standard reference method: chemiluminescence”

EN 15058:2017 “Stationary source emissions - Determination of the mass concentration of carbon monoxide - Standard reference method: non-dispersive infrared spectrometry”

EN 15267-4:2017 “Air quality - Certification of automated measuring systems - Part 4: Performance criteria and test procedures for automated measuring systems for periodic measurements of emissions from stationary sources”

Figueiredo, M. (2011) - **Contributo para a Gestão da Qualidade do Ar em Estarreja**. Departamento de Ambiente e Ordenamento. Dissertação apresentada à Universidade de Aveiro para obtenção do grau de Mestre em Engenharia do Ambiente: Universidade de Aveiro., 2011.

França, T. A. G., - **Avaliação da qualidade do ar no Arquipélago da Madeira**. Dissertação apresentada à Universidade de Aveiro para a obtenção do Grau de Mestre em Engenharia do Ambiente. Aveiro: Universidade de Aveiro, 2011.

GE Measurement & Control, 2018. **GE Digital Solutions | Inspection, Measurement & Control Equipment**. [Consult. 1 março 2018]. Disponível na internet: <URL: www.gemeasurement.com/pt/>

HORIBA, 2018. **Grupo Horiba**. [Consult. 1 fevereiro 2018]. Disponível na internet: <URL: www.horiba.com/>

HORIBA., - **HORIBA Process & Environmental: Portable Gas Analyzer PG-250**. Manual de instruções do analisar PG 250. Japão.

IEC 60068-2-6:2007 “Environmental testing – Part 2-6: Tests – Test Fc: Vibration (sinusoidal)”

ISO, **Internacional Organization for Standardization**. [Consult. 10 março 2018]. Disponível na internet: <URL: www.iso.org/>

LRA, Laboratório de Referência do Ambiente - **Manual de métodos e de procedimentos operativos das redes de monitorização da qualidade do ar - amostragem e análise**. Amadora: Agência Portuguesa do Ambiente, 2010.

LumaSense Technologies, Inc (2018). **Tecnologia de Infravermelho Não Dispersivo (NDIR)**. [Consult. 20 fevereiro 2018]. Disponível na internet: <URL: <https://www.lumasenseinc.com.html>>

Maia, A., – **Avaliação da exposição a poluentes atmosféricos na cidade de Aveiro**. Dissertação apresentada à Universidade de Aveiro para a obtenção de Grau de Mestre em Engenharia do Ambiente. Aveiro: Universidade de Aveiro, 2014.

MCERTS, 2018. **Esquema de Certificação de Monitorização da Agência do Ambiente para equipamentos**. [Consult. 8 fevereiro 2018]. Disponível na internet: <URL: www.csagroupuk.org/services/mcerts>

Monteiro, A., - **Desenvolvimento de um sistema de avaliação e previsão da qualidade do ar para Portugal**. Tese apresentada à Universidade de Aveiro para a obtenção de Grau de Doutor em Ciências Aplicadas ao Ambiente. Aveiro: Universidade de Aveiro, 2007.

OMS, Organização Mundial da Saúde - **WHO Air Quality Guidelines for Europe**. 2ª ed. Genebra: WHO Regional Publications, European Series, nº 91, 2000. ISBN: 92-890-1358-3.

OMS, (2006) - **Air Quality Guidelines - Global Update**. Organização Mundial de Saúde, Gabinete Regional para a Europa, Publicações Regionais da OMS. Copenhaga, 2005.

Santos. F., - **Caracterização de emissões atmosféricas**. Ambiente Magazine, Série n.º 35, 2003. Pág: 37-38. Portugal, 2003.

Santos. F., (2006) - **Análise das emissões de poluentes atmosféricos de fontes fixas industriais em Portugal continental**. Dissertação apresentada à Universidade de Aveiro para a obtenção de Grau de Mestre em Poluição Atmosférica. Aveiro: Universidade de Aveiro, 2006.

SONDAR, 2018. **Grupo Sondar**. [Consult. 19 janeiro 2018]. Disponível na internet: <URL: www.gruposondar.net>

TUV Rheinland, 2018. **Fornecedor global de serviços técnicos, de segurança e de certificação**. [Consult. 8 fevereiro 2018]. Disponível na internet: <URL: www.tuv.com/portugal/pt/>

ANEXOS

ANEXO I – REPRODUTIBILIDADE O₂

Tabela 22 - Pares de valores de O₂.

Reprodutibilidade O₂

Medição	Dia	Hora	Concentração P-AMS ₁	Concentração P-AMS ₂	AMS ₁ -AMS ₂	(AMS ₁ -AMS ₂) ²
1	23/05/18	12:50-13:20	14,870	14,970	-0,100	0,010
2	23/05/18	13:30-14:00	14,880	14,970	-0,090	0,008
3	23/05/18	14:10-14:40	14,790	14,880	-0,090	0,008
4	23/05/18	14:50-15:20	13,570	13,720	-0,150	0,023
5	23/05/18	15:30-16:00	13,150	13,280	-0,130	0,017
6	23/05/18	16:05-16:35	11,440	11,550	-0,110	0,012
7	24/05/18	10:05-10:35	10,600	10,640	-0,040	0,002
8	24/05/18	10:40-11:10	10,860	10,910	-0,050	0,003
9	24/05/18	11:15-11:45	11,400	11,440	-0,040	0,002
10	24/05/18	11:50-12:20	11,880	11,960	-0,080	0,006
11	24/05/18	12:25-12:55	12,020	12,100	-0,080	0,006
12	24/05/18	13:00-13:30	12,050	12,130	-0,080	0,006
13	24/05/18	13:35-14:05	11,910	12,010	-0,100	0,010
14	24/05/18	14:10-14:40	11,820	11,920	-0,100	0,010
15	24/05/18	14:50-15:20	12,130	12,220	-0,090	0,008
16	24/05/18	15:40-16:10	12,100	12,210	-0,110	0,012
17	26/05/18	10:30-11:00	11,810	11,850	-0,040	0,002
18	26/05/18	11:05-11:35	12,290	12,350	-0,060	0,004
19	26/05/18	11:40-12:10	13,130	13,220	-0,090	0,008
20	26/05/18	12:20-12:50	13,190	13,280	-0,090	0,008
21	26/05/18	13:00-13:30	13,250	13,350	-0,100	0,010
22	26/05/18	14:10-14:40	13,030	13,140	-0,110	0,012
23	26/05/18	16:00-16:30	13,010	13,120	-0,110	0,012
24	27/05/18	09:00-09:30	12,920	13,020	-0,100	0,010
25	27/05/18	09:40-10:10	13,240	13,320	-0,080	0,006
26	27/05/18	10:18-10:48	12,240	12,330	-0,090	0,008
27	27/05/18	11:30-12:00	11,740	11,820	-0,080	0,006
28	27/05/18	12:35-13:05	11,480	11,540	-0,060	0,004
29	27/05/18	13:10-13:40	11,460	11,540	-0,080	0,006
30	27/05/18	13:52-14:22	12,120	12,090	0,030	0,001

ANEXO II – REPRODUTIBILIDADE CO*Tabela 23 - Pares de valores de CO.***Reprodutibilidade CO**

Medição	Dia	Hora	Concentração P-AMS ₁	Concentração P-AMS ₂	AMS ₁ -AMS ₂	(AMS ₁ -AMS ₂) ²
1	23/05/18	12:50-13:20	726,880	705,340	21,540	463,972
2	23/05/18	13:30-14:00	722,180	700,730	21,450	460,102
3	23/05/18	14:10-14:40	709,230	644,330	64,900	4212,010
4	23/05/18	14:50-15:20	875,530	901,240	-25,710	661,004
5	23/05/18	15:30-16:00	840,310	842,090	-1,780	3,168
6	23/05/18	16:05-16:35	838,220	904,360	-66,140	4374,500
7	24/05/18	10:05-10:35	804,380	959,690	-155,310	24121,196
8	24/05/18	10:40-11:10	872,420	1071,930	-199,510	39804,240
9	24/05/18	11:15-11:45	838,530	1034,250	-195,720	38306,318
10	24/05/18	11:50-12:20	878,520	1079,530	-201,010	40405,020
11	24/05/18	12:25-12:55	768,380	1056,490	-288,110	83007,372
12	24/05/18	13:00-13:30	818,800	974,330	-155,530	24189,581
13	24/05/18	13:35-14:05	609,000	777,230	-168,230	28301,333
14	24/05/18	14:10-14:40	855,350	1013,860	-158,510	25125,420
15	24/05/18	14:50-15:20	861,010	1077,870	-216,860	47028,260
16	24/05/18	15:40-16:10	938,830	1080,090	-141,260	19954,388
17	26/05/18	10:30-11:00	926,060	1118,400	-192,340	36994,676
18	26/05/18	11:05-11:35	981,740	1190,790	-209,050	43701,903
19	26/05/18	11:40-12:10	921,990	1105,160	-183,170	33551,249
20	26/05/18	12:20-12:50	797,590	952,360	-154,770	23953,753
21	26/05/18	13:00-13:30	900,680	1068,730	-168,050	28240,803
22	26/05/18	14:10-14:40	945,440	1121,080	-175,640	30849,410
23	26/05/18	16:00-16:30	1024,300	1152,950	-128,650	16550,823
24	27/05/18	09:00-09:30	154,450	202,000	-47,550	2261,003
25	27/05/18	09:40-10:10	809,970	861,990	-52,020	2706,080
26	27/05/18	10:18-10:48	961,080	1050,650	-89,570	8022,785
27	27/05/18	11:30-12:00	1005,650	1351,200	-345,550	119404,803
28	27/05/18	12:35-13:05	966,540	1169,690	-203,150	41269,923
29	27/05/18	13:10-13:40	954,960	1141,880	-186,920	34939,086
30	27/05/18	13:52-14:22	901,910	1005,150	-103,240	10658,498

ANEXO III – REPRODUTIBILIDADE NO

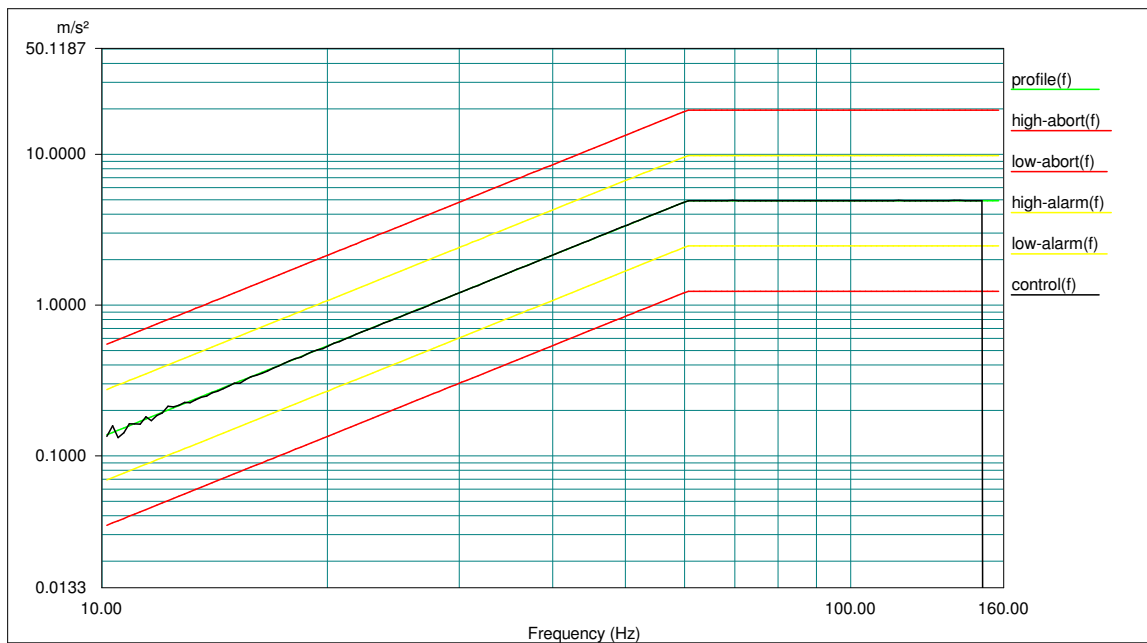
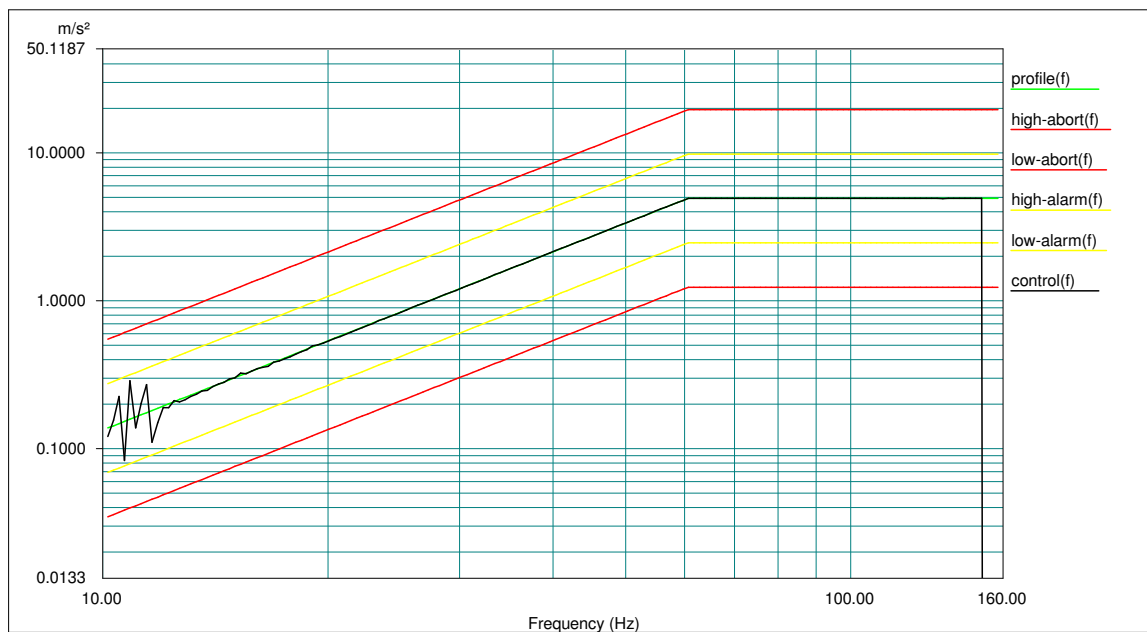
Tabela 24 - Pares de Valores de NO.

Reprodutibilidade NO

Medição	Dia	Hora	Concentração P-AMS ₁	Concentração P-AMS ₂	AMS ₁ -AMS ₂	(AMS ₁ -AMS ₂) ²
1	23/05/18	13:11-13:41	97,99	92,58	5,41	29,27
2	23/05/18	13:42-14:12	155,12	147,56	7,56	57,15
3	23/05/18	14:13-14:43	163,09	157,4	5,69	32,38
4	23/05/18	14:44-15:14	59,29	57,55	1,74	3,03
5	23/05/18	15:15-15:45	123,25	115,4	7,85	61,62
6	23/05/18	15:46-16:16	196,95	189,73	7,22	52,13
7	24/05/18	10:23-10:53	136,57	136,55	0,02	0,00
8	24/05/18	10:54-11:24	176,46	171,66	4,80	23,04
9	24/05/18	11:25-11:55	243,72	239,82	3,90	15,21
10	24/05/18	11:56-12:26	188,66	183,72	4,94	24,40
11	24/05/18	12:27-12:57	134,11	130,78	3,33	11,09
12	24/05/18	12:58-13:28	138,57	134,13	4,44	19,71
13	24/05/18	14:00-14:30	85,08	81,33	3,75	14,06
14	24/05/18	14:31-15:01	116,43	111,45	4,98	24,80
15	24/05/18	15:02-15:32	121,79	116,96	4,83	23,33
16	26/05/18	10:54-11:24	104,86	101,16	3,70	13,69
17	26/05/18	11:25-11:55	158,29	155,51	2,78	7,73
18	26/05/18	11:56-12:26	274,59	269,07	5,52	30,47
19	26/05/18	12:27-12:57	222,62	216,45	6,17	38,07
20	26/05/18	12:58-13:28	149,71	146,11	3,60	12,96
21	26/05/18	14:31-15:01	152,98	147,86	5,12	26,21
22	26/05/18	15:02-15:32	129,48	125,37	4,11	16,89
23	26/05/18	15:33-16:03	117,25	113,15	4,10	16,81
24	27/05/18	09:20-09:50	119,9	116,16	3,74	13,99
25	27/05/18	09:51-10:21	160,2	154,58	5,62	31,58
26	27/05/18	11:24-11:54	153,35	148,47	4,88	23,81
27	27/05/18	11:55-12:25	129,14	123,39	5,75	33,06
28	27/05/18	12:26-12:56	224,32	213,42	10,90	118,81
29	27/05/18	13:28-13:58	247,01	239,92	7,09	50,27
30	27/05/18	13:59-14:29	197,55	196,64	0,91	0,83

ANEXO IV – REPRODUTIBILIDADE SO₂*Tabela 25 - Pares de valores de SO₂.***Reprodutibilidade SO₂**

Medição	Dia	Hora	Concentração P-AMS ₁	Concentração P-AMS ₂	AMS ₁ -AMS ₂	(AMS ₁ -AMS ₂) ²
1	23/05/18	14:13-14:43	0,49	2,80	-2,31	5,34
2	23/05/18	15:15-15:45	5,79	4,09	1,70	2,89
3	23/05/18	15:46-16:16	8,73	10,27	-1,54	2,37
4	23/05/18	09:21-09:51	1,18	3,45	-2,27	5,15
5	23/05/18	09:52-10:22	1,17	2,91	-1,74	3,03
6	24/05/18	10:23-10:53	3,67	4,60	-0,93	0,86
7	24/05/18	11:25-11:55	2,05	4,38	-2,33	5,43
8	24/05/18	11:56-12:26	1,54	4,01	-2,47	6,10
9	24/05/18	13:29-13:59	1,56	3,48	-1,92	3,69
10	24/05/18	14:00-14:30	1,87	4,55	-2,68	7,18
11	26/05/18	14:31-15:01	1,73	4,19	-2,46	6,05
12	26/05/18	15:33-16:03	1,39	3,02	-1,63	2,66
13	26/05/18	16:04-16:34	1,54	3,54	-2,00	4,00
14	26/05/18	09:21-09:51	2,99	3,82	-0,83	0,69
15	26/05/18	9:52-10:22	1,43	2,99	-1,56	2,43
16	27/05/18	10:23-10:53	1,48	2,95	-1,47	2,16
17	27/05/18	10:54-11:24	1,79	4,55	-2,76	7,62
18	27/05/18	11:25-11:55	1,80	4,03	-2,23	4,97
19	27/05/18	11:56-12:26	1,58	3,64	-2,06	4,24
20	27/05/18	12:58-13:28	2,08	5,18	-3,10	9,61
21	26/05/18	13:29-13:59	1,54	3,33	-1,79	3,20
22	26/05/18	14:31-15:01	1,89	4,57	-2,68	7,18
23	26/05/18	15:02-15:32	1,63	3,31	-1,68	2,82
24	26/05/18	15:33-16:03	1,94	4,58	-2,64	6,97
25	27/05/18	09:51-10:21	1,06	2,42	-1,36	1,85
26	27/05/18	10:22-10:52	3,46	5,09	-1,63	2,66
27	27/05/18	11:55-12:25	2,14	5,76	-3,62	13,10
28	27/05/18	12:26-12:56	1,34	2,58	-1,24	1,54
29	27/05/18	12:57-13:27	1,32	2,56	-1,24	1,54
30	27/05/18	13:28-13:58	1,62	2,78	-1,16	1,35

ANEXO V – INFLUÊNCIA DE VIBRAÇÃO DO O₂**Influência de Vibração do O₂***Gráfico 9 - Perfil de vibração de O₂ no eixo do X.**Gráfico 10 - Perfil de vibração de O₂ no eixo do Y.*

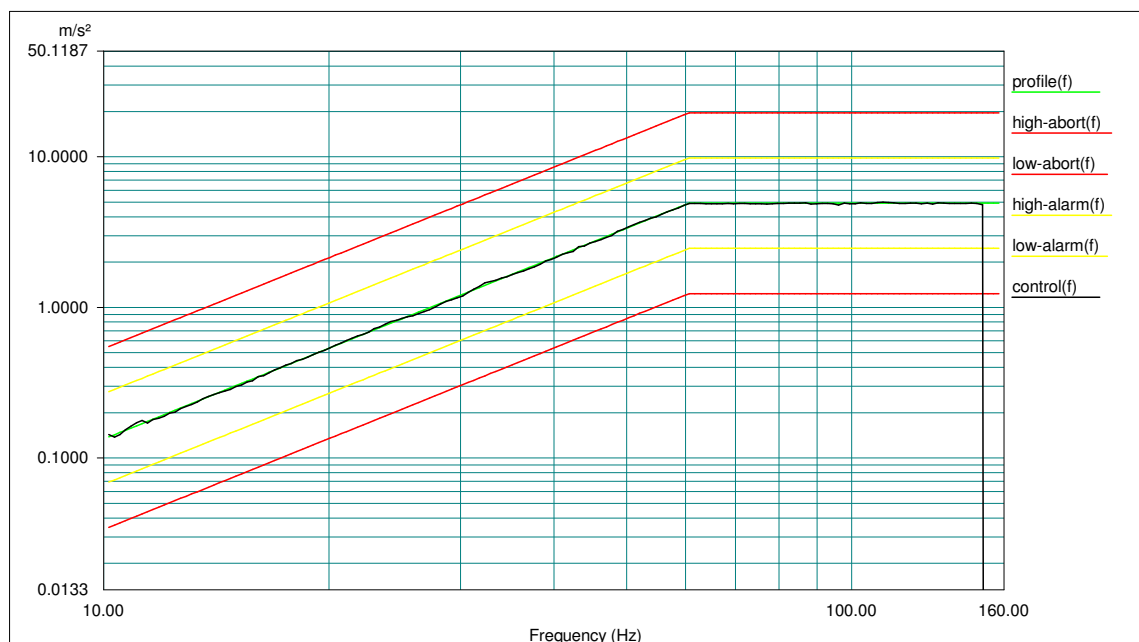


Gráfico 11 - Perfil de vibração do O₂ no eixo dos Z.

ANEXO VI – INFLUÊNCIA DE VIBRAÇÃO DO CO

Influência de Vibração do CO

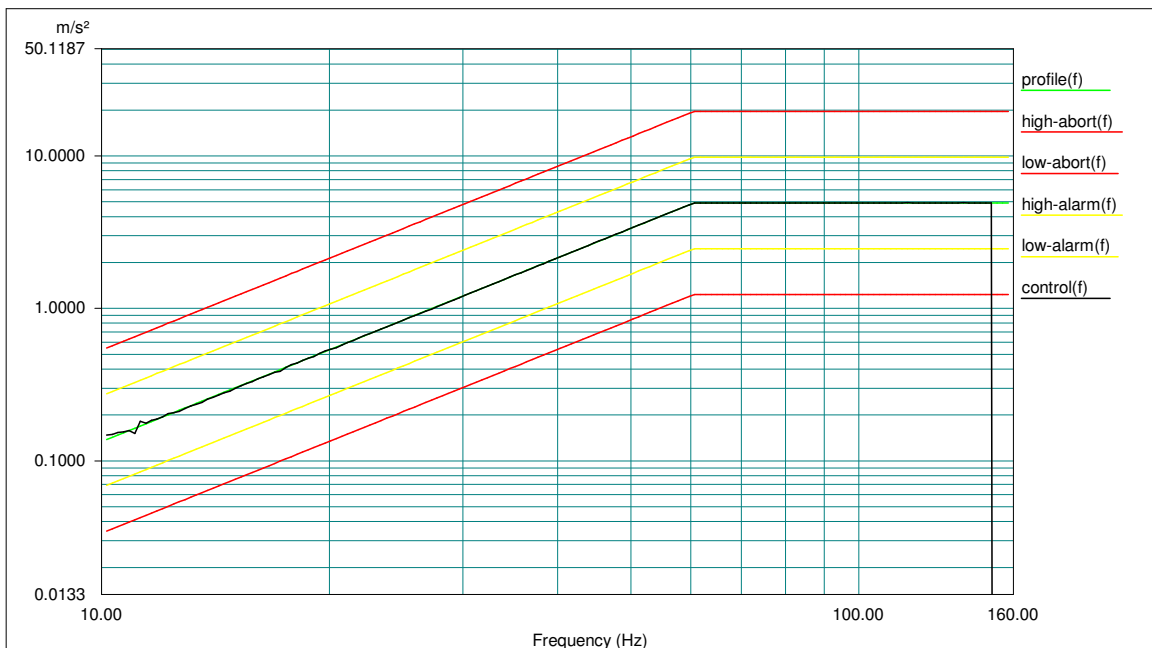


Gráfico 12 - Perfil de vibração de CO no eixo do X.

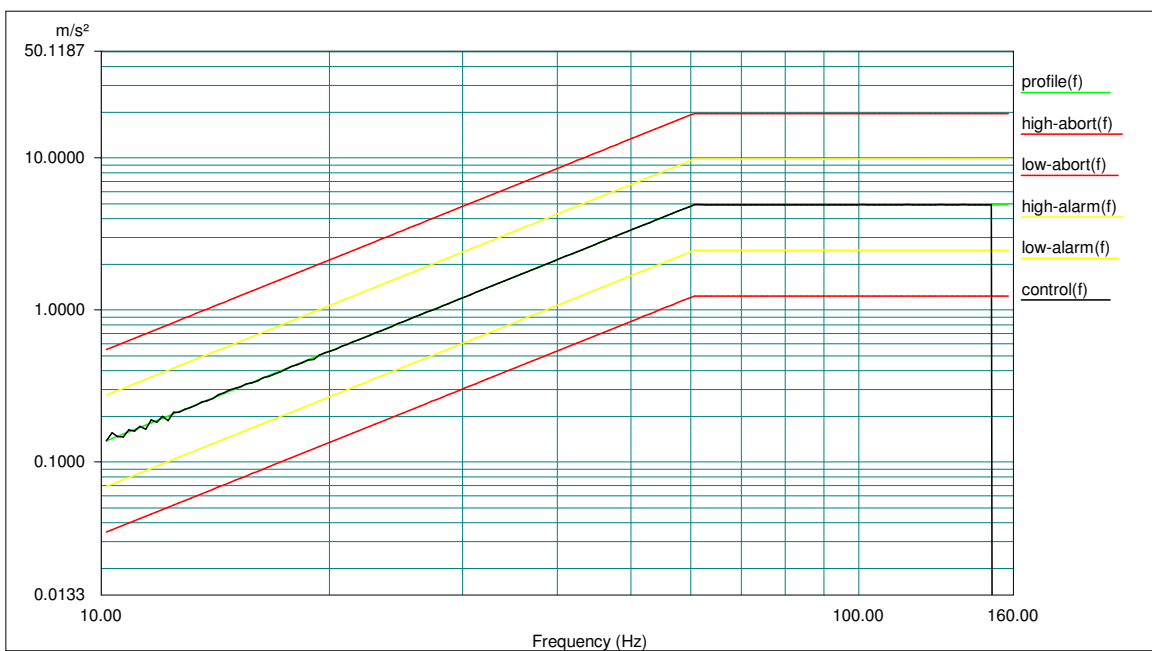


Gráfico 13 - Perfil de vibração de CO no eixo do Y.

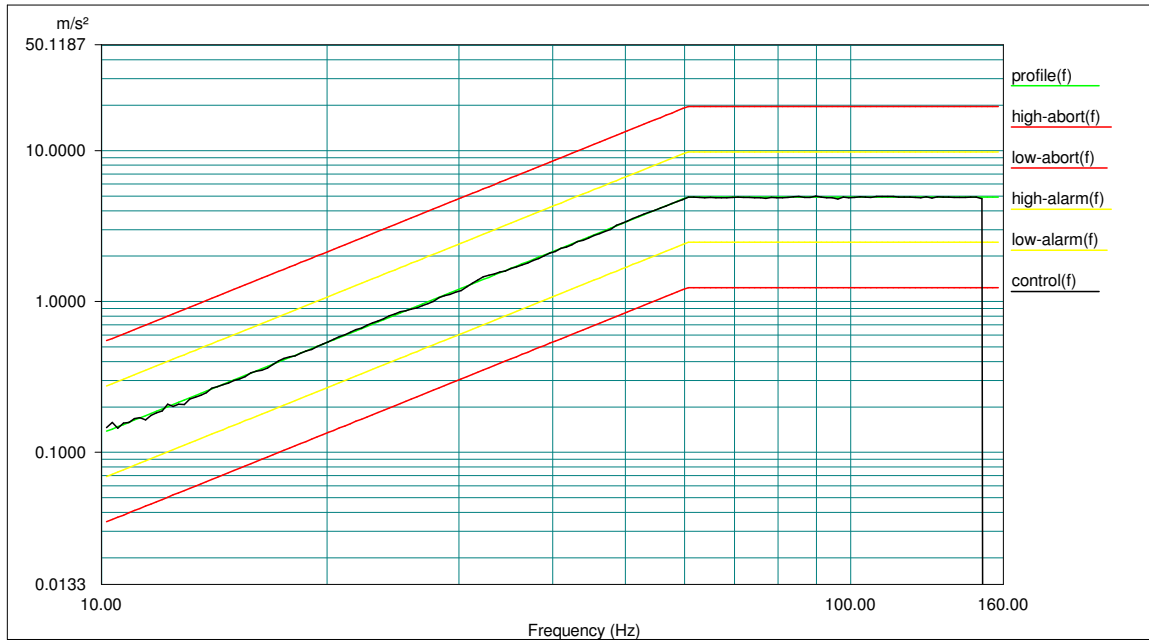


Gráfico 14 - Perfil de vibração do CO no eixo dos Z.

ANEXO VII – INFLUÊNCIA DE VIBRAÇÃO DO NO

Influência de Vibração do NO

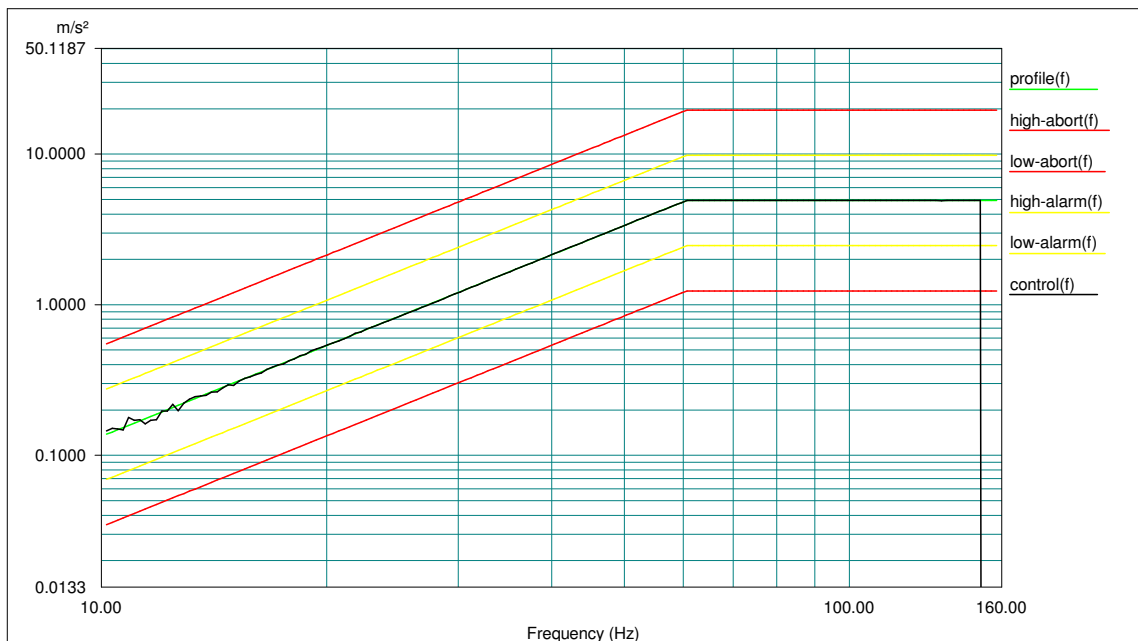


Gráfico 15 - Perfil de vibração de NO no eixo do X.

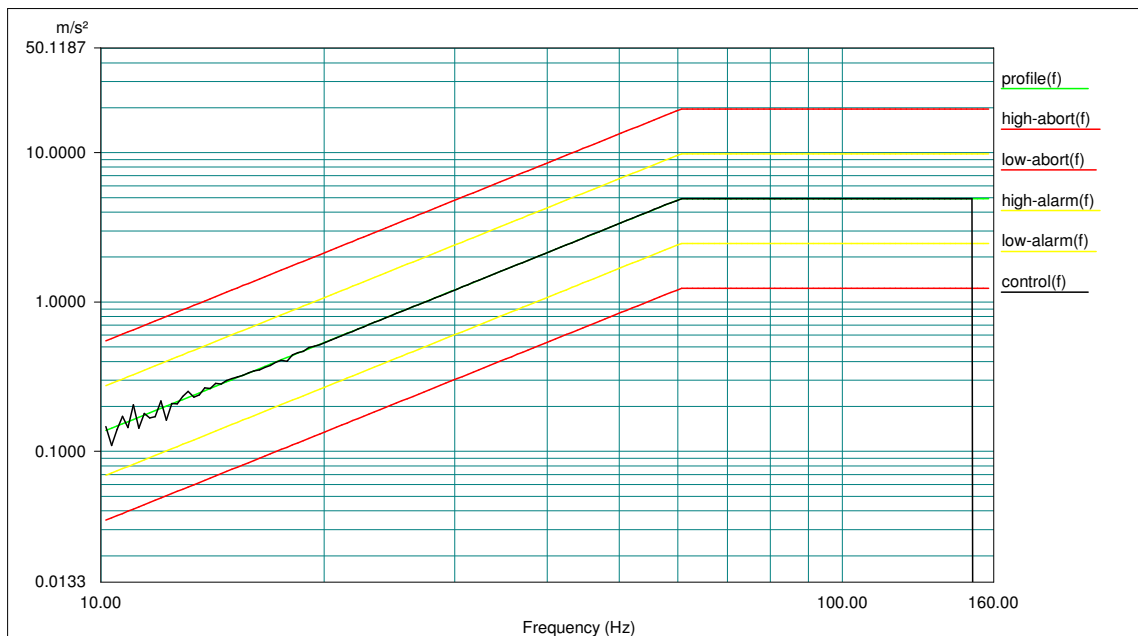


Gráfico 16 - Perfil de vibração de NO no eixo do Y.

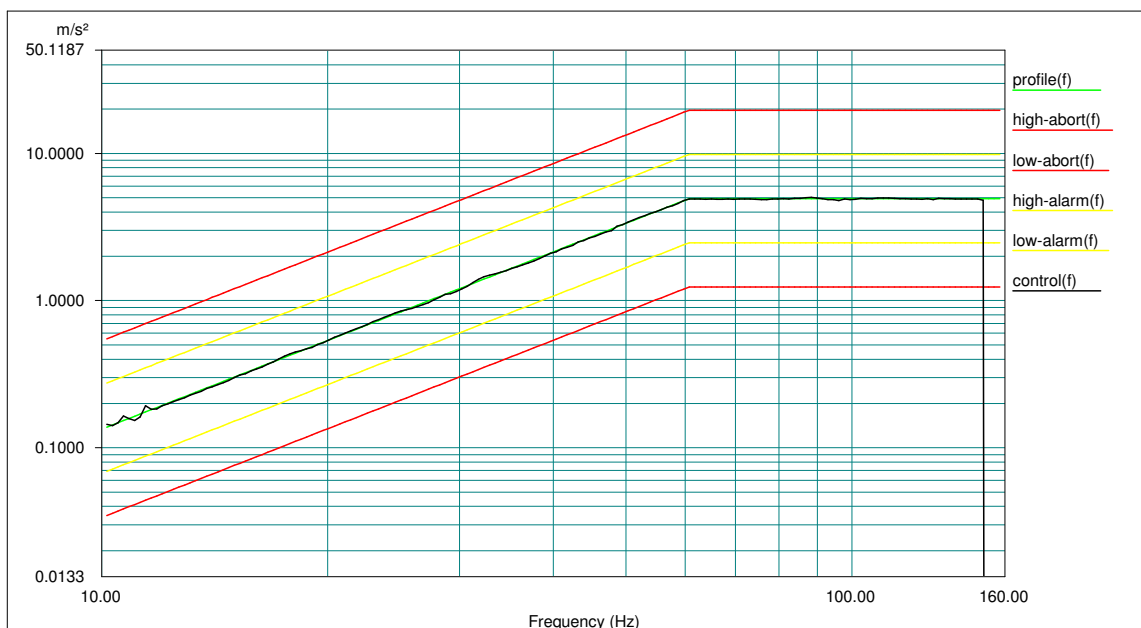


Gráfico 17 - Perfil de vibração do NO no eixo dos Z.

ANEXO VIII – INFLUÊNCIA DE VIBRAÇÃO DO SO₂

Influência de Vibração do SO₂

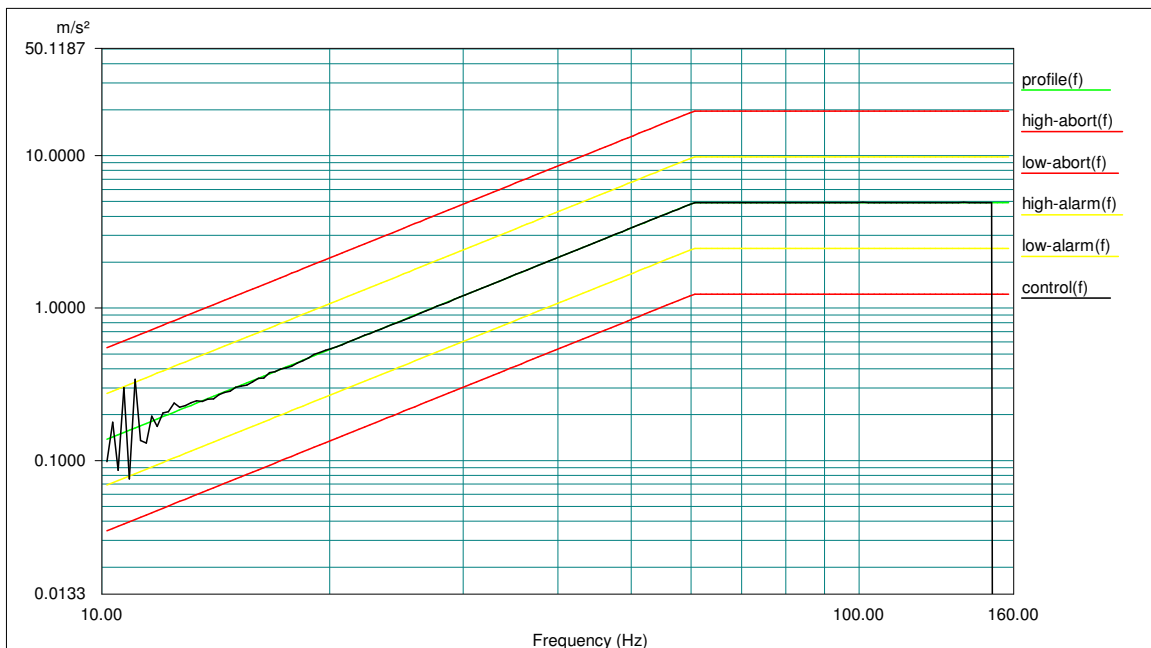


Gráfico 18 - Perfil de vibração de SO₂ no eixo do X.

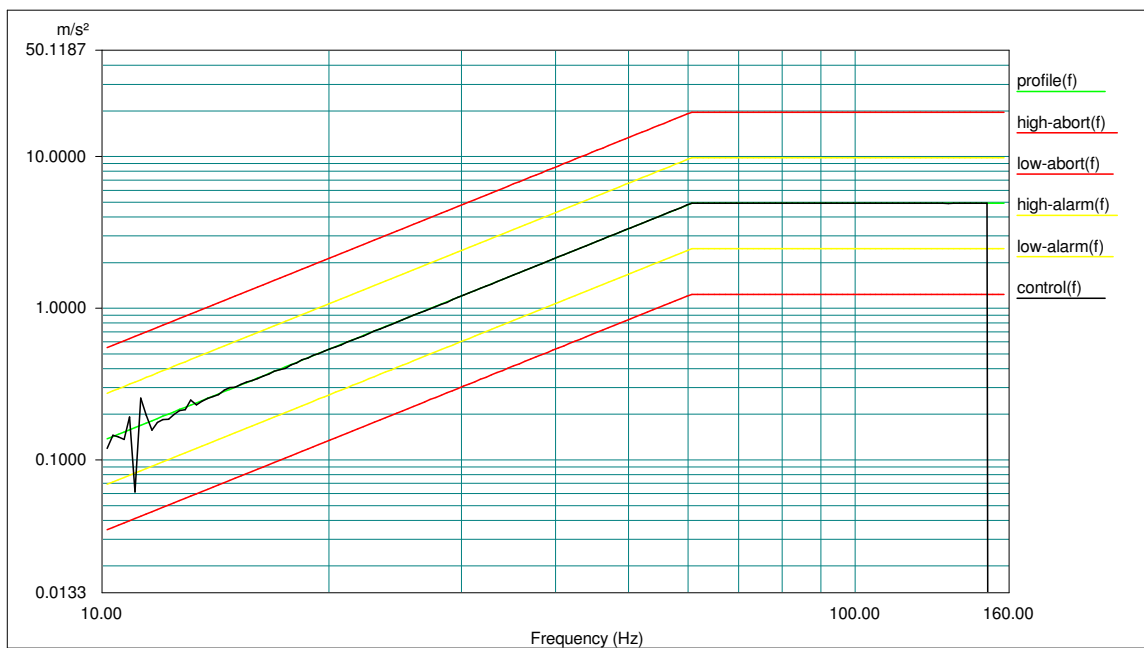


Gráfico 19 - Perfil de vibração de SO₂ no eixo do Y.

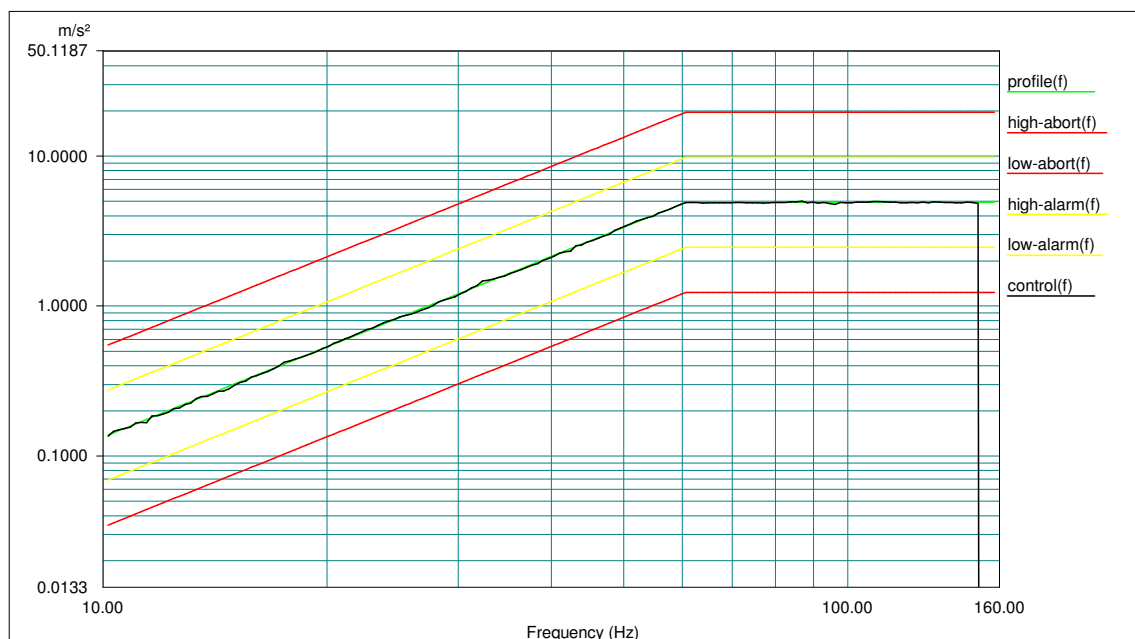


Gráfico 20 - Perfil de vibração do SO₂ no eixo dos Z.