

Agradecimentos

Ao longo do nosso processo de crescimento como pessoas, vamos deparando-nos com novas realidades até então desconhecidas, é preciso percorrer um longo caminho para atingir os nossos objectivos, mas tudo isto não seria possível sem que haja intervenção de todos aqueles que nos rodeiam.

Desta forma, gostaria de agradecer à Jorge Loureiro – Projectos de Engenharia e Arquitectura, Lda, entidade que me acolheu durante este período, o que possibilitou a aquisição de novos conhecimentos, não só em termos técnicos na área de acústica, como em metrologia legal e no referencial normativo NP EN ISO/IEC 17025:2005.

De seguida gostaria de agradecer ao Departamento de Química, a todos os professores e colaboradores que transformaram o ensino num ensino de qualidade, que nos souberam transmitir todas as ferramentas essenciais para que nos pudéssemos fazer sobressair no mercado do trabalho.

Mas, tudo isto não seria possível sem a orientação do Professor Doutor Jorge Costa Pereira, que cativou e motivou os seus alunos para a descoberta do mundo exterior ao departamento, auxiliando na utilização de ferramentas estatísticas, que por vezes são vistas apenas como simples ferramentas teóricas, mas com uma forte componente prática que com um pouco de imaginação e engenho nos podem ser muito úteis em qualquer ramo de actividade, independentemente do tipo de produto ou serviço que estamos a estudar.

Por outro lado, nada disto seria possível sem o apoio e força que os elementos do Clube das Jotas me têm dado. Muito obrigado a todas pelos bons momentos que passámos, pelas horas de estudo em conjunto, nem que sejam até às duas da manhã a fazer exercícios do pescado para o exame do dia seguinte, bons momentos que ficarão na recordação de todas nós. A união e espírito de entre ajuda serão das melhores lições que alguma vez poderemos retirar destes seis anos académicos cheios de aventuras e descobertas pelo fantástico mundo da Química.

Por fim, não poderia deixar passar o momento sem agradecer aos meus pais, que muito apoio me têm dado, e que sempre estiveram ao meu lado em todos os momentos da minha vida, a eles um muito obrigado por tudo o que têm feito por mim.

Índice

| | |
|-----------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Abreviaturas | V |
| Resumo | vii |
| 1. Introdução..... | 13 |
| 2. Revisão da literatura | 19 |
| 2.1 Acústica | 19 |
| 2.1.1 O som e o ruído | 19 |
| 2.1.2 Acústica de edifícios | 19 |
| 2.2 Acreditação..... | 20 |
| 2.3 Ferramentas da qualidade | 21 |
| 2.3.1 Cartas de controlo..... | 22 |
| 2.3.2 Ciclo PDCA | 23 |
| 2.3.3 Diagrama de árvore ou fluxo de sistemas | 26 |
| 2.3.4 Diagrama de causa e efeito | 26 |
| 2.3.5 Fluxograma | 27 |
| 2.3.6 Histograma | 28 |
| 2.3.7 Tempestade de ideias..... | 28 |
| 2.4 Validação de Métodos de Ensaio..... | 29 |
| 2.4.1 Ensaaios de comparação interlaboratorial | 30 |
| 2.4.2 Auditorias de Medição..... | 31 |
| 2.4.3 Ensaaios Intralaboratoriais..... | 31 |
| 2.4.3.1 Repetibilidade e precisão intermédia..... | 31 |
| 2.5 Incerteza na quantificação | 32 |
| 2.6 Testes estatísticos | 34 |
| 2.6.1 Teste de Grubbs | 34 |
| 2.6.2 Técnica do z-score..... | 35 |
| 2.7 Equipamentos..... | 35 |
| 3. Procedimentos..... | 39 |
| 3.1 Material..... | 39 |
| 3.2 Procedimentos..... | 41 |
| 3.2.1 Nível sonoro médio de longa duração (Ensaio de comparação interlaboratorial)..... | 41 |

| | |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| 3.2.2 Isolamento sonoro a sons de percussão (Auditoria de medição) | 42 |
| 3.2.3 Isolamento a sons de condução aérea entre compartimentos (Ensaio Intralaboratoriais) | 44 |
| 4. Análise e discussão de resultados | 49 |
| 4.1 Ensaio de comparação interlaboratorial | 49 |
| 4.2 Auditorias de medição | 56 |
| 4.3 Ensaio de comparação intralaboratoriais | 67 |
| 4.4 Validação de certificados de calibração de equipamentos | 79 |
| 4.5 Validação de software | 82 |
| 5. Conclusões | 87 |
| Bibliografia | 91 |
| A.1 Definições | 97 |
| A.2 Ensaio interlaboratoriais de 2010 | 98 |
| A.3 Cálculo das Incertezas de medição | 102 |
| A.4 Controlo de equipamentos | 104 |
| A.5 Certificado de calibração da máquina de percussão | 105 |

Abreviaturas

AC – Acções correctivas

ADAI – Associação para o Desenvolvimento da Aerodinâmica Industrial

AM – Auditoria de medição

CL – Linha central, do inglês central line

EA – European Accreditation (www.european-accreditation.org)

ECl – Ensaio de comparação interlaboratorial

emm – Equipamento de medição e monitorização

IAF – International Accreditation Forum (www.iaf.nu)

ILAC - International Laboratory Accreditation Cooperation (www.ilac.org)

IPAC – Instituto Português de Acreditação (www.ipac.pt)

IPQ – Instituto Português da Qualidade (www.ipq.pt)

ISO – International Standard Organization (www.iso.org)

L_d ou L_{day} - Indicador de ruído diurno

NC – Não-conformidade

ONG – Organização Não Governamental

PDCA – Planear (Plan), Executar (Do), Verificar (Check), Actuar (Action)

PME – Pequenas e Médias Empresas

RT – Responsável Técnico

SGQ – Sistema de Gestão da Qualidade

VIM – Vocabulário Internacional de Metrologia

Resumo

Os laboratórios em fase de acreditação devem demonstrar perante o cliente e perante o organismo acreditador que possuem competência para a realização dos ensaios inseridos no âmbito da acreditação. Para tal, devem recorrer a ferramentas que permitiram avaliar o desempenho e a competência na realização dos mesmos, tais como as auditorias de medição, os ensaios interlaboratoriais e os ensaios intralaboratoriais.

Por outro lado, é essencial a criação de ferramentas que permitam o controlo permanente e contínuo de todos os processos, recorrendo-se a simples ferramentas da qualidade, como por exemplo cartas de controlo, teste de Grubbs para diagnóstico de valores discrepantes, teste t-emparelhado para comparação de procedimentos, entre outros, que possibilitassem a melhoria contínua do Sistema de Gestão da Qualidade implementado de acordo com o referencial normativo NP EN ISO/IEC 17025:2005.

De uma forma geral, as ferramentas anteriormente mencionadas permitem efectuar uma avaliação de todos os processos, diagnosticar trabalho não-conforme, e tomar as devidas acções preventivas, ou correctivas consoante o caso em questão. Possibilitam, portanto, um acompanhamento mais permanente, não só em termos da parte técnica como da parte de gestão, facilitando de forma muito significativa a tomada de acções para melhorar o processo já implementado.

Palavras-chave:

Acreditação, qualidade, controlo da qualidade, ferramentas estatísticas

Abstract

Laboratories in the accreditation process must demonstrate to the client or the accrediting entity that they have the competence to perform the tests within the scope of accreditation. For this, they must rely on tools to assess the performance and competence, such as the measuring audits and both the inter and intra laboratory comparison tests.

On the other hand, it is essential to create tools that allow permanent and continuous control of all processes, making use of the simple quality tools such as control charts, Grubbs test, for outliers diagnosis, Students paired t-test, for comparison of procedures, etc., which together would enable continuous improvement of the Quality Management System implemented according to the standard reference of NP EN ISO / IEC 17025:2005.

In general, the tools mentioned above allow an assessment of all processes, diagnose nonconforming work, and take appropriate preventive or corrective actions, according to each case. These tools, therefore allow a more permanent basis, not only at the technical level but also at management level, facilitating, significantly, the actions taken to improve the process already in place.

Keywords:

Accreditation, quality, quality control, and statistical tools

1. INTRODUÇÃO

1. Introdução

Com o presente capítulo pretende-se introduzir o trabalho desenvolvido ao longo do corrente ano, fazendo o seu enquadramento e identificando os objectivos a atingir. Mencionando também, a justificação da escolha e selecção do tema, bem como a apresentação da metodologia a seguir para atingir os objectivos definidos. Por fim, para uma melhor compreensão e visão global da dissertação, é apresentada a sua estrutura.

As organizações, nomeadamente as Pequenas e Médias Empresas (PME) que são a espinha dorsal da economia portuguesa, têm contribuído de forma muito significativa para a inovação, criação de emprego, distribuição de riqueza e coesão socioeconómica das comunidades onde se inserem.

Contudo, têm passado por enormes dificuldades, quer devido à sua reduzida competitividade no processo de globalização, quer a uma conjuntura económica muito desfavorável, que se traduz em dificuldades financeiras.

Neste cenário tão adverso, para fazer face à crise e para sobreviverem, estas empresas têm de se fazer sobressair no mercado cada vez mais competitivo, recorrendo por exemplo à criação de iniciativas inovadoras, de forma a proporcionar serviços que as distingam da concorrência. Uma excelente forma para contornar a situação consiste na aposta da Qualidade.

Atendendo a estes factores e de forma a ultrapassar a crise existente no mercado português, a Jorge Loureiro – Projectos de Engenharia e Arquitectura, Lda., entidade sediada em Abrantes, tomou a iniciativa de implementar o Sistema de Gestão da Qualidade (SGQ) no Laboratório de Acústica, de acordo com o referencial normativo NP EN ISO/IEC 17025:2005.

O objectivo inicial apresentado seria acreditação do laboratório, dado que o desejo de continuar a realizar ensaios obrigava a que a entidade cumprisse com o que está definido no Art.º 34 do Decreto-Lei n.º 9/2007, de 17 de Janeiro, que impunha a obrigatoriedade da realização de ensaios por laboratórios acreditados, a partir de 1 de Fevereiro de 2011 [1].

Outro factor muito relevante para a tomada da decisão referida anteriormente, foi a fraca concorrência existente no distrito de Santarém, uma vez que já existe um reduzido número de entidades nesta área, e por conseguinte são muito reduzidas as entidades com recursos

financeiros capazes de suportar os elevados gastos associados a todo o processo de Acreditação.

Contudo, para tentar contrariar mais gastos desnecessários foi essencial o recurso das ferramentas da qualidade, o que simultaneamente gerou vários benefícios, prevenindo a ocorrência de problemas e reduzindo os custos associados ao trabalho não-conforme.

Este estudo, centralizou-se na redução de custos associados ao laboratório. Constatou-se que existiam despesas decorrentes do processo de acreditação do laboratório impossíveis de contornar, como é o caso de formação específica dos técnicos que executam o ensaio, calibração/verificação de equipamentos, auditoria internas, entre outras despesas necessárias à correcta prossecução do processo.

Contudo, de forma a dinamizar o processo houve necessidade de analisar detalhadamente as restantes despesas, entre elas os custos associados ao trabalho não conforme.

Em termos práticos, ambicionou-se que esta dissertação aprofundasse o estudo da identificação e minimização das não-conformidades detectadas no decorrer do processo de acreditação do laboratório, de acordo com o referencial normativo NP EN ISO/IEC 17025:2005 [2].

Neste contexto de aperfeiçoamento do processo, é essencial um conhecimento mais profundo dos problemas envolvidos com as actividades de ensaio, para atingir os objectivos pretendidos. Para este efeito, o desenvolvimento desta dissertação requererá o auxílio das ferramentas da qualidade, para facilitar a detecção e tratamento das não conformidades detectadas ao longo de todo o processo, e que servirá de auxílio para o controlo de gastos desnecessários associados ao trabalho não conforme.

A presente dissertação encontra-se organizada em cinco capítulos. No capítulo 1 é efectuado um breve enquadramento da entidade no processo de acreditação do laboratório de acústica, assim como, abordado o problema central da redução de custos associados ao trabalho não conforme e são definidos os objectivos essenciais para os minimizar. De forma sintética e objectiva, o capítulo apresenta as bases sob as quais o trabalho foi desenvolvido.

No capítulo 2 é apresentada a fundamentação teórico-legal que serviu de base ao desenvolvimento desta dissertação, descrevendo em detalhe as exigências normativas associadas à implementação do Sistema de Gestão da Qualidade. São abordados, também, os possíveis métodos de validação de ensaios, a validação de certificados de calibração e/ou

verificação, entre outros aspectos essenciais, com predominância das ferramentas da qualidade associadas a cada um.

No capítulo 3 encontram-se descritos detalhadamente os procedimentos efectuados durante a aquisição e subsequente tratamento dos resultados obtidos.

No capítulo 4 são analisados os resultados obtidos nos diferentes processos com o auxílio das ferramentas da qualidade expressas pelas normas ISO 13528:2005 [3], NP EN 20140-2:2008 [4] e NP EN ISO 140-4:2009 [5].

Por último, no capítulo 5, são apresentadas de forma sucinta, as principais conclusões subjacentes ao estudo efectuado, assim como os obstáculos decorrentes desse estudo e são feitas sugestões para desenvolvimentos futuros.

2. FUNDAMENTAÇÃO

2. Revisão da literatura

Neste capítulo é feita uma revisão e sistematização dos conceitos teóricos utilizados nesta dissertação, analisando os conceitos associados à propagação do som, acreditação, seus princípios e requisitos essenciais, bem como as ferramentas da qualidade utilizadas em cada processo.

2.1 Acústica

A Acústica estuda a produção, transmissão e efeitos do som nos diferentes meios de propagação.

2.1.1 O som e o ruído

O som é um fenómeno físico ondulatório, resultante de toda e qualquer vibração, que se propaga no seio de um determinado meio (sólido, líquido ou gasoso), resultante do choque entre as moléculas existentes, e possuindo a capacidade de produzir no indivíduo uma sensação auditiva.

Um ser humano, jovem e saudável é capaz de detectar sons com frequências entre os 20 e os 20.000 Hz.

O ruído é caracterizado por ser um som desagradável, tendo vários efeitos indesejáveis sobre o ser humano, desde a simples interferência na comunicação verbal até efeitos fisiológicos mais acentuados, como perda auditiva, perturbações do sono e hipertensão arterial.

2.1.2 Acústica de edifícios

Na acústica de edifícios, normalmente actua-se nos meios de transmissão. Na transmissão sonora entre espaços fechados podem ser considerados três tipos distintos de propagação sonora, sendo eles: a propagação sonora no interior de um espaço fechado, dependente da geometria da sala, dos elementos interiores existentes, quer em termos de mobiliário, como cadeiras, mesas, cortinados, alcatifa, etc., como em termos de ocupação de pessoas; a propagação sonora entre dois espaços por via aérea, que depende, sobretudo, do isolamento sonoro que os elementos de divisão entre os dois espaços conferem (este

isolamento sonoro depende, da massa constituinte desses elementos e da sua estanquidade ao ar); a propagação sonora, entre dois espaços, por via sólida de sons de percussão. Este depende, sobretudo, do tipo de ligações existentes entre o emissor e o receptor, da estrutura do edifício, da ligação entre os elementos de compartimentação e das características do local de aplicação da solicitação.

Nos edifícios de habitação verifica-se uma certa heterogeneidade dos materiais constituintes das paredes e pavimentos, uma vez que as ondas incidentes são em parte absorvida por esses elementos, sendo as restantes ondas reflectidas e transmitidas para o outro lado do compartimento em estudo.

Em todas estas situações uma onda sonora incide sobre uma superfície e decompõem-se em duas partes distintas: uma parte da energia será reflectida (E_r) e a restante absorvida (E_a). Esta última, por sua vez, decompõe-se em: energia dissipada no interior da parede, sob a forma de calor, devido a atritos internos que as suas moléculas enfrentam no seu movimento ondulatório; e energia transmitida através da parede (E_t). Este fenómeno é mostrado na Figura 2.1.

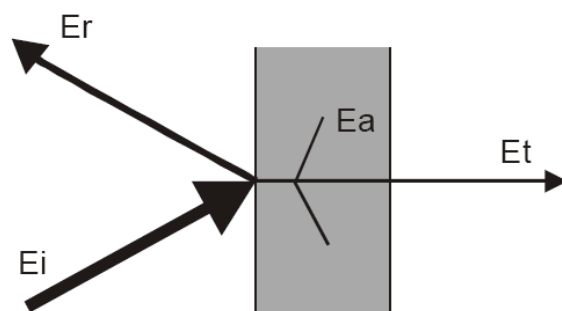


Figura 2.1 – Esquema representativo da incidência da radiação (E_i) numa superfície plana, verificando-se fenómenos de reflexão (E_r), absorção (E_a) e transmissão (E_t) do som.

2.2 Acreditação

A acreditação, termo proveniente do Latim “credere” que significa: crer juntamente com o seu sufixo “action” que significa acção ou acto, consiste no reconhecimento formal, por uma organização não governamental (ONG)¹, de que um laboratório atende com os requisitos

¹ Consiste num grupo social organizado, sem fins lucrativos, constituído formal e autonomamente, caracterizado por acções de solidariedade no campo das políticas públicas e pelo legítimo exercício de pressões políticas em proveito de populações excluídas das condições da cidadania.

previamente definidos e demonstra ser competente para realizar as suas actividades com confiança, rigor e fiabilidade exigidas. No caso específico de Portugal essa entidade é o Instituto Português de Acreditação (IPAC), que de acordo com o Decreto-Lei n.º 125/2004, de 31 de Maio, assumiu essas funções. Anteriormente, todos os processos de acreditação passavam pelo Instituto Português da Qualidade (IPQ) [6-7].

A competência técnica de um laboratório depende de inúmeros factores, incluindo o pessoal qualificado, com treino e experiência nas actividades que pretende realizar; equipamentos aptos para uso, devidamente calibrados e em bom estado de utilização conforme a política de rastreabilidade do Laboratório; bem como o uso de métodos de ensaio validados.

Um estudo efectuado em 2006, com intuito de identificar as principais não-conformidades impeditivas da concessão da acreditação, revelou problemas em termos da adequabilidade dos procedimentos de ensaio e de cálculo das respectivas incertezas, ou em alguns casos a inexistência dos mesmos, assim como a ausência de rastreabilidade, a presença de resultados insatisfatórios nos ensaios de comparação interlaboratorial, entre outros aspectos essenciais. Estes factores serviram, também, de base para o desenvolvimento desta dissertação [8].

2.3 Ferramentas da qualidade

Ao longo de todo o processo e de forma a controlar e melhorar o Sistema de Gestão da Qualidade (SGQ) implementado, é imprescindível recorrer a outro tipo de recursos para analisar a evolução dos processos. Para tal, é essencial o uso de ferramentas da qualidade permitindo desta forma recolher, organizar e analisar detalhadamente muitas situações que se não forem resolvidas atempadamente puderam por em causa o trabalho efectuado pelo laboratório. Por outro lado, remetem para mudanças que possam promover uma melhoria do sistema implementado.

As ferramentas da qualidade são um conjunto de ferramentas estatísticas de uso consagrado para a melhoria da qualidade de processos, produtos, ou até mesmo de serviços.

Estas ferramentas podem facilitar o planeamento de um dado processo/produto/serviço, tornando-se eficazes como instrumentos de suporte à tomada de decisões por parte de todos os elementos envolvidos no processo, uma vez que permitem antecipar falhas, de modo a planear o processo; atribuir acções correctivas e preventivas ao longo do processo, diminuindo a variabilidade; promover também a diminuição dos custos associados à reavaliação de

trabalho, erros cometidos e atrasos; introduzir um ciclo de melhoria contínua, e envolver a componente técnica e a de gestão para uma correcta análise da situação em estudo.

Foram implementadas algumas ferramentas estatísticas, como por exemplo cartas de controlo, diagramas de causa-efeito, gráficos de dispersão, histogramas, fluxogramas, entre outras.

2.3.1 Cartas de controlo

As cartas de controlo são uma ferramenta muito utilizada no mundo da Qualidade, permitindo sintetizar um amplo conjunto de dados, usando métodos estatísticos, para observar alterações dentro de um processo cujos limites foram previamente estabelecidos, e ao mesmo tempo analisar a variabilidade do mesmo.

Esta ferramenta foi criada em 1928 por Walter A. Shewhart enquanto trabalhava nos Laboratórios Bell. Passados estes 80 anos continua-se a confirmar a forte aplicabilidade da mesma.

De uma forma geral, as cartas de controlo são constituídas por linhas horizontais paralelas, que muito facilmente fornecem informações relevantes para o estudo em causa. Para tal, existe uma faixa de tolerância limitada pela linha superior de controlo (LSC) e pela linha inferior de controlo (LIC); surge ainda uma linha central (LC) que representa os valores padrão (μ) ou valores teóricos, e ainda é possível encontrar as linhas de aviso inferior (LAI) e superior (LAS). O espaço total fica dividido em seis zonas distintas [9 – 10].

Com a recolha das sucessivas amostras retiradas ao longo do tempo obtém-se um conjunto de dados, e calcula-se os respectivos parâmetros estatísticos (média, amplitude, variância, etc.) que são comparados com os limites das cartas. A escolha e selecção do tipo de carta a utilizar depende de vários critérios.

Este tipo de ferramenta é essencial para verificar a tendência dos resultados obtidos ao longo de um período, resultantes da monitorização contínua em tempo real, sendo que qualquer pessoa pode facilmente identificar anomalias que possam vir a surgir, ou até mesmo prevenir muitas situações de trabalho não-conforme, se previamente detectadas; bem como, melhorar a qualidade dos serviços prestados e reduzir os custos associados ao trabalho não-conforme.

Esta ferramenta apresenta, no entanto, algumas desvantagens, pois reflecte apenas um dado período de medição (hora, dia, semana, mês, etc.), sem que haja qualquer histórico; por

outro lado implica um conhecimento acrescido do técnico em termos de estatística, para poder utilizar e seleccionar a situação mais adequada.

2.3.2 Ciclo PDCA

O ciclo PDCA², representado na Figura 2.2, foi inicialmente desenvolvido por Walter Shewart, em 1920, quando trabalhava na companhia telefónica Bell, e mais tarde popularizado por W. Edwards Deming. Por essa razão, também conhecido como o ciclo de Deming. É uma ferramenta que permite melhorar continuamente o sistema implementado, com as funções básicas de planear, executar, verificar e actuar correctamente. Projectado para ser um modelo dinâmico, deve funcionar de tal modo, que no fim de cada processo, este seja reavaliado e analisado. Posteriormente novo ciclo será efectuado, o que facilita a execução de tarefas, além de evitar desperdícios desnecessários, em termos de tempo, dinheiro e de trabalho não-conforme.

Analisando mais em pormenor o ciclo PDCA, durante a etapa do planeamento é essencial identificar as metas e os métodos para que se consiga atingir os objectivos propostos.

De seguida, é essencial apostar na formação de todos os elementos envolvidos para que adquiram as competências necessárias à correcta realização dos ensaios.

Na etapa de verificação é essencial o recurso das ferramentas da qualidade, para recolher e avaliar o sucesso de todas as etapas anteriores, comparando com os objectivos previamente estabelecidos.

Esta etapa evidencia a necessidade de acções correctivas³ e/ou correcções⁴.

A finalização da implementação de um ciclo de PDCA dá origem a um novo ciclo, ou seja, a quarta etapa (Action) dará origem à primeira etapa (Plan).

² Do Inglês, Plan, Do, Check and Action.

³ **Acção correctiva** - De acordo com a NP EN ISO 9000:2005, consiste numa acção para eliminar a causa de uma não-conformidade detectada ou de outra situação indesejável.

⁴ **Correcção** - De acordo com a NP EN ISO 9000:2005, consiste numa acção para eliminar uma não conformidade detectada.

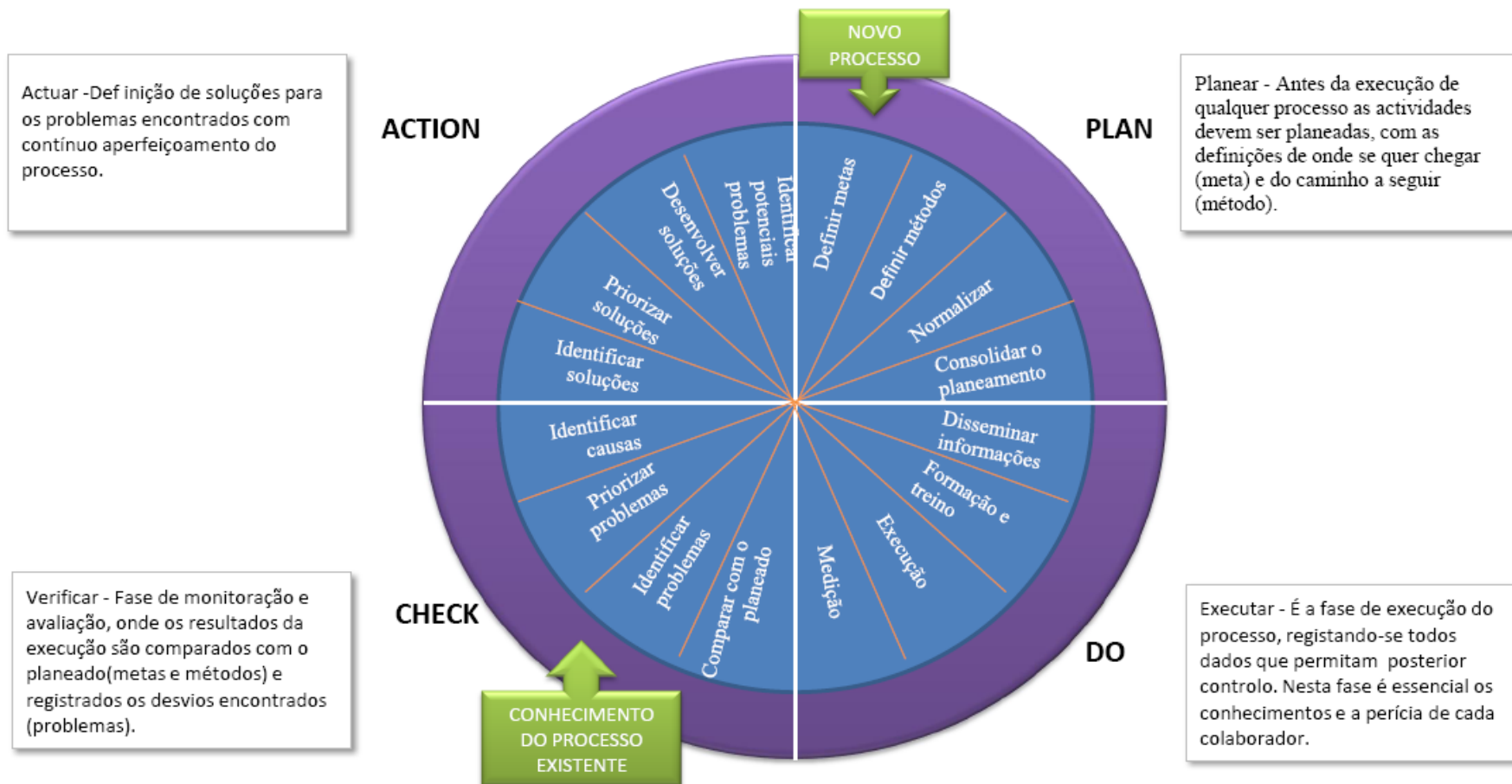


Figura 2.2 – Ciclo de análise de melhoria de processos.

2.3.3 Diagrama de árvore ou fluxo de sistemas

O diagrama de fluxo de sistemas, também conhecido como diagrama de árvore, apresenta uma estrutura em forma de árvore que cresce da esquerda para a direita.

Esta ferramenta é essencialmente usada para identificar actividades, entre elas permite reconhecer hierarquias, envolvendo pessoas, estruturas de trabalho ou prioridades, bem como entradas e saídas de um projecto, procedimento ou processo.

Este diagrama tem-se mostrado muito útil na determinação das relações entre as necessidades e as características destinadas a atendê-las, bem como quando se pretende definir acções para atingir determinado objectivo.

A sua utilização é indispensável quando é fundamental compreender o que precisa de ser realizado, juntamente com o “como” deve ser obtido e as relações entre esses objectos e metodologias.

2.3.4 Diagrama de causa e efeito

O diagrama de causa e efeito foi aplicado pela primeira vez em 1960, no Japão, pelo guru da qualidade, Kaoru Ishikawa, para sintetizar as opiniões dos engenheiros de uma fábrica quando estes discutiam sobre os problemas da qualidade.

De uma forma geral, é uma ferramenta que procura visualizar todas as causas associadas a um problema, e posteriormente analisar e identificar todas as soluções existentes, de forma a melhorar o processo.

Ele procura actuar preventivamente. Qualidade, custo e produtividade são os efeitos ou resultados, que de forma directa ou indirecta, estão associados ao controle de cada processo.

Este tipo de ferramenta permite estruturar hierarquicamente os efeitos observados e as suas possíveis causas, analisando todos os aspectos que possam estar associados. O modelo original sugeria quatro grupos (também conhecidos como os quatro M's): os materiais, a mão-de-obra, os métodos utilizados e as máquinas. As versões mais recentes, fazem-se acompanhar por seis grupos (seis M's), quatro dos quais mantiveram-se do modelo anterior, vindo-se a acrescentar as medições e o meio envolvente aquando da realização do ensaio.

De uma forma geral, é constituído por um no eixo principal que representa o fluxo de informações e no qual surge o problema a ser resolvido, ou o efeito desejado do processo; associado ao eixo central estão ligadas as contribuições primárias (categorias) que afectam directamente o parâmetro em estudo; cada categoria transforma-se, também ela, num eixo

central onde estão ligadas as contribuições secundárias (causas); por vezes surgem ainda subdivididas em sub-causas.

A importância desta ferramenta com instrumento de análise de requisitos de sistemas é caracterizada por vários motivos, entre eles se destacam a percepção de todos os factores (causas) que afectam o sistema, o que implica um esforço acrescido na busca de soluções para evitar ou minimizar os problemas associados; bem como que a participação de todos os elementos envolvidos no processo, o que promove a um aumento de conhecimentos de cada um [11 – 12].

Contudo, também apresenta algumas desvantagens, uma vez que as soluções apresentadas são mais limitadas e não apresentam qualquer tipo de evolução; implica também um novo percurso por todos os passos, quando surge uma nova situação.

De uma forma geral, apresentam várias vantagens entre elas destacam-se a facilidade de elaboração e de análise; bem como a detecção e a resolução de problemas através da análise temporal de uma dada sequência de dados.

Contudo, torna-se um processo pouco conciso aquando da análise de várias sequências ao mesmo tempo.

2.3.5 Fluxograma

O fluxograma é uma ferramenta avançada de análise de processos, pois esquematiza a sequências de etapas de um ciclo de actividades. Além da sequência das actividades, o fluxograma apresenta os materiais ou serviços que entram e saem do processo, todos os procedimentos a efectuar em cada etapa, e os responsáveis pelos mesmos.

Este tipo de ferramenta apresenta uma simbologia muito própria, pelo que cada etapa do processo, pessoas envolvidas, sectores, sequências das operações, circulação de dados e documentos envolvidos apresentam determinadas características. Os símbolos mais comumente utilizados são os seguintes:

- a) Um rectângulo com as extremidades arredondadas para representar o início e o fim do processo;
- b) Um rectângulo para representar uma etapa do processo;
- c) Losango para representar uma decisão, nele devem constar a questão essencial, exteriormente surge duas setas onde se encontra as hipóteses de resposta, que geralmente são de resposta curta, por exemplo sim ou não;
- d) As setas representam o sentido e a sequência das etapas do processo.

De uma forma geral, apresenta uma grande variedade de vantagens pelo que é de fácil compreensão; auxilia na identificação de oportunidades de melhoria e no desempenho de uma actividade, pelo que surge representado pela sequência e encadeamento das actividades dando uma visão do fluxo do processo; bem como que surge sempre associado de documentos ou anexos acessíveis a qualquer elemento da entidade, sempre que surja qualquer tipo de dúvida.

Contudo apresenta algumas desvantagens, uma vez que a sua aplicabilidade só será efectiva na medida em que mostrar, verdadeiramente, como é o processo; para além de que uma pessoa sozinha é incapaz de completar o fluxograma, a não ser que tenha ajuda de outros elementos.

2.3.6 Histograma

O histograma foi desenvolvido em 1833, por A. M. Guerry, quando efectuava uma análise dos dados obtidos após um crime. Contudo, só em 1891 é que surgiu a palavra histograma, quando Karl Pearson (estudante da Universidade de Cambridge) estudava o uso das diferentes aplicações da matemática como ferramenta pedagógica para descobrir a verdade dos factos [13].

Um histograma consiste num gráfico de barras, que representa um conjunto de dados recolhidos num determinado momento do processo, permitindo visualizar de uma forma clara e fácil o comportamento de uma dada característica em estudo. Descrevendo a frequência com que variam e a forma de distribuição dos dados como um todo, surgindo representado sobre um sistema de eixos cartesianos, onde o eixo das ordenadas representa as classes de frequência e sobre o eixo das abcissas o aspecto sob estudo (tempo, velocidade, custos associados, entre outros).

Quanto às suas aplicações, estas podem ser muito variadas, desde a detecção de produto não-conforme, à determinação da dispersão dos valores obtidos, ou até no estabelecimento de acções correctivas.

2.3.7 Tempestade de ideias

A tempestade de ideias, também denominada de brainstorming, é a mais conhecida das técnicas de geração de ideias. Foi originalmente desenvolvida por Osbor, em 1938.

É uma técnica muito utilizada em grupo, pois envolve a contribuição de todos os elementos envolvidos de forma espontânea, permitindo gerar um conjunto de ideias em curto

período de tempo, do mesmo modo que focaliza a atenção de todos os elementos nos aspectos essenciais do problema, analisando-o nos diversos ângulos. Surge, desta forma, soluções criativas e inovadoras para os problemas em causa, assegurando que no final se iram tomar as melhores decisões propostas pelo grupo.

Muitas vezes recorre-se a esta técnica quando as causas de um problema são difíceis de detectar e, ao mesmo tempo apresenta as respectivas soluções.

Contudo, para a correcta utilização desta técnica tem de haver regras, como por exemplo a valorização da quantidade e não da qualidade de ideias geradas; evitar críticas ou interpretações às mesmas, de forma a evitar inibições dos restantes participantes; participação de todos os elementos, independentemente do cargo ocupado; e a colaboração de um elemento para efectuar o registo das ideias apresentadas.

A técnica apresenta como vantagens o facto de permitir a intervenção aleatória de todas as pessoas, independentemente do seu estatuto na empresa; flexibilidade em termos de possibilidades de utilização; de fácil aplicação e não requer grandes conhecimentos para se obter resultados.

No entanto, apresenta as suas desvantagens, sendo que se o objectivo da tempestade de ideias não for claramente apresentado, pode suscitar desvios para outros campos; os resultados ou as soluções procuradas podem não ser as mais favoráveis para o caso em estudo; por outro lado é um processo empírico, sem qualquer tipo de comprovação científica, baseando-se apenas na experiência de cada um dos envolvidos no processo [14].

2.4 Validação de Métodos de Ensaio

Um dos factores essenciais para prosseguir com acreditação de um laboratório, segundo o requisito 5.4.5 do referencial normativo NP EN ISO/IEC 17025:2005, consiste na validação de métodos de ensaio.

Desta forma, todos os laboratórios devem ter procedimentos técnicos apropriados para o âmbito de actuação. Para tal, podem-se basear em métodos normalizados ou não normalizados. Os primeiros são desenvolvidos por um organismo de normalização ou mesmo outras entidades, enquanto os segundos são métodos desenvolvidos internamente pelo próprio laboratório. Contudo em ambos os casos terão de ser devidamente validados, visto que é essencial verificar se as condições do laboratório permitem obter resultados e precisão que possam ser aceites como adequadas.

A validação de um método de ensaio consiste num processo pelo qual se analisa as características de performance do método, garantindo que os ensaios são sempre executados

da mesma maneira, diminuindo significativamente as fontes de variabilidade, desta forma se garante que independentemente do técnico que realiza o ensaio, o procedimento seguido é sempre o mesmo.

Por outro lado, a inexistência de procedimentos de medição padronizados, implica que os ensaios sejam efectuados de diferentes formas, consoante o técnico que efectua a medição, por sua vez a experiência que apresenta, destreza e conhecimentos em campo afectam de forma muito significativa a precisão dos resultados obtidos [15].

De uma forma geral, existem duas formas de validar um método de ensaio. A primeira hipótese consiste no recurso a métodos de avaliação directa por comparação com padrões, ou por ensaios de comparação interlaboratorial. Em alternativa, pode-se efectuar recorrendo a métodos de avaliação indirecta através de estudos de representatividade, de interferências, das fontes de erros, de optimização das condições operacionais e dos parâmetros característicos do método (por exemplo: repetibilidade, precisão intermédia, incerteza, etc.) [16].

Os resultados obtidos no decorrer destes ensaios, quando insatisfatórios, implicaram uma análise e investigação das suas causas, e posteriormente implementação das devidas acções. Em primeira mão, como acção preventiva, deverá interromper a realização dos ensaios. Após diversas análises, se necessário, deverá implementar acções correctivas, entre elas podem-se destacar a revisão dos procedimentos de medição, investir no treino e formação dos técnicos, reparar e calibrar equipamentos, entre outros factores que podem melhorar os resultados previamente obtidos.

Através das diferentes formas de validar um método de ensaio, os laboratórios podem identificar, explicar e corrigir as diversas fontes associadas aos resultados insatisfatórios.

2.4.1 Ensaio de comparação interlaboratorial

Para que um determinado laboratório obtenha a concessão da acreditação é necessário que participe em programas de comparação interlaboratorial (ECI) de forma a validar os métodos de ensaio utilizados [16].

Por definição, um ensaio de comparação interlaboratorial trata-se da participação de pelo menos cinco laboratórios diferentes, e em condições pré-determinadas para efectuar os ensaios, tendo sempre em comum a mesma amostra, e o mesmo método de ensaio [17].

De uma forma geral, os ensaios de comparação interlaboratorial têm como principais objectivos o fornecimento de ferramentas de garantia da qualidade ao laboratório, permitindo-

lhe comparar o seu desempenho com laboratórios similares; detectar situações de trabalho não-conforme, analisando as suas causas e posterior implementação das devidas correcções e acções correctivas, por forma a facilitar a melhoria do desempenho e monitorização do mesmo; comparar os diferentes métodos de ensaio; fornecer uma certa confiança adicional aos clientes do laboratório; bem como demonstrar a sua competência perante o cliente, terceiros e junto da entidade acreditadora [10] [18 – 20].

2.4.2 Auditorias de Medição

As auditorias de medição (AM) na área de acústica consistem na realização de ensaios de medição recorrendo a “padrões”, isto é, a medição é realizada num recinto, com características bem definidas, e cujo valor verdadeiro é conhecido à priori pelo laboratório piloto.

Neste tipo de auditorias é verificado se os resultados obtidos pelo laboratório em causa são compatíveis com o valor aceite como verdadeiro, de forma a analisar e avaliar o desempenho do mesmo [10].

2.4.3 Ensaio Intralaboratoriais

Contrariamente às situações anteriores, pretende-se comparar os resultados obtidos pelos diferentes técnicos que realizam o mesmo ensaio, recorrendo ao mesmo método de medição, sujeito às mesmas condições, no mesmo local, e com os mesmos equipamentos de medição, para que o único factor que possa variar seja o factor técnico. Para tal, é essencial efectuar-se n medições, previamente estabelecidas, e posteriormente efectuado um estudo de precisão e exactidão do método de ensaio em estudo.

Este tipo de validação é muito apropriado quando se deseja avaliar o desempenho de um método antes da participação em ECI's, quando os mesmos não estiverem disponíveis, ou não forem aplicáveis para a situação em causa.

De uma forma geral, este processo de validação de ensaios permitem avaliar a repetibilidade e a precisão intermédia do laboratório.

2.4.3.1 Repetibilidade e precisão intermédia

A repetibilidade representa a concordância entre os resultados de sucessivas medições de um mesmo ensaio, efectuadas sob as mesmas condições de medição no qual se efectua

recorrendo ao mesmo procedimento; mesmo técnico; mesmo instrumento de medição; mesmo local de ensaio; repetições em um curto intervalo de tempo [21].

A partir do desvio padrão dos resultados dos ensaios sob condição de repetibilidade é possível determinar o limite de repetibilidade “r” que informa o da existência de grandes dispersões em torno das n medições efectuadas. Para um nível de confiança de 95%, o limite de repetibilidade (r) é avaliado por:

$$r = 2,8s_r \quad (2.1)$$

sendo s_r desvio-padrão de repetibilidade associada aos resultados considerados;

A precisão intermediária refere-se à precisão avaliada sobre a mesma amostra, utilizando o mesmo método de medição, no mesmo laboratório ou em laboratórios diferentes, mas variando por exemplo os técnicos que executam as medições, os equipamentos de medição, ou os períodos de medição.

Para determinar a precisão intermediária de um método, efectua-se “n” medições, sobre a amostra, nas condições pré-definidas.

2.5 Incerteza na quantificação

Em todas as medições poderão ocorrer erros devido a diversos factores que afectam muito significativamente os resultados, sendo necessário associar uma incerteza a cada fonte de variabilidade.

De acordo com o Vocabulário Internacional de Metrologia (VIM), a incerteza de medição surge-nos definida como um “parâmetro não-negativo que caracteriza a dispersão dos valores da grandeza que são atribuídos à mensuranda baseados na informação usada” [21].

De uma forma simples, pode-se dizer que ao resultado obtido experimentalmente é possível associar uma dada grandeza, a determinar, que estabelece a faixa de valores, na qual o valor considerado como verdadeiro está contido.

No caso concreto da área de acústica, existem diversos factores que podem contribuir para a incerteza de medição: condições ambientais (direcção do vento, pressão, humidade, temperatura), equipamentos de medição, técnico (experiência na execução de ensaios), características do item a ensaiar, arredondamentos, procedimento de medição (número de medições, duração das mesmas, número de pontos a medir) entre outros parâmetros que afectam significativamente o resultado.

Para que seja possível a determinação da incerteza associada a uma medição. Considerando que Y é a grandeza que está a ser medida, denominada de mensuranda, não é mensurada directamente, mas sim determinada a partir das outras Xn grandezas, através da relação funcional f dada pela seguinte expressão:

$$Y = f(X_1, X_2, \dots, X_n) \quad (2.2)$$

A função anterior deve conter todas as grandezas e factores de correcção que podem contribuir de forma significativa para a incerteza da medição.

Contudo é essencial ter em atenção o tipo de incerteza com a qual estamos a trabalhar. Em geral, as componentes da incerteza podem ser classificadas de acordo com o método utilizado para as avaliar.

As incertezas do Tipo A podem ser avaliadas recorrendo a métodos estatísticos, por exemplo cálculo do desvio padrão da média de n medições, adoptar o método de mínimos quadrados para ajuste de uma curva, ou até mesmo da análise das variâncias. Enquanto que no caso das incertezas do Tipo B são avaliadas recorrendo a outros métodos que não sejam os estatísticos, podendo por exemplo resultar de condições do fabricante, dados provenientes de certificados de calibração e/ou verificação, valores estabelecidos para dados de referencia provenientes de livros.

A incerteza final resulta da contribuição de todas as incertezas identificadas (tipo A e tipo B) em cada caso específico. Para tal recorre-se à incerteza padrão combinada, descrita na equação 2.3:

$$u_c(y(x_1, x_2, \dots, x_N)) = \sqrt{\sum_{i=1}^N c_i^2 \times u(x_i)^2} \quad (2.3)$$

Apesar da incerteza padrão combinada u_c ser utilizada para expressar a incerteza associada a diversas fontes de variabilidade, é essencial definir um valor que defina o intervalo, em torno do resultado da medição, para os quais o valor é aceite com elevada confiança. Este valor é designado por incerteza expandida, simbolicamente representada por U, e é obtido combinando a incerteza padrão combinada (u_c) com um factor de expansão (k), sendo este escolhido de acordo com o nível de confiança com o qual estamos a trabalhar. Na maioria das situações, o nível de confiança é de 95%, assumindo-se desta forma que $K=2$.

$$U = k \times u_c(y) \quad (2.4)$$

Sendo que o resultado apresentado ao cliente surge da seguinte forma:

$$Y = y \pm U \quad (2.5)$$

2.6 Testes estatísticos

Para além das ferramentas anteriormente enumeradas, existem outras que são essenciais ao nível da rastreabilidade das medições, entre elas se destaca o teste t-student, teste t-emparelhado, teste de Grubbs, e a técnica do Z-scores.

2.6.1 Teste de Grubbs

O teste de Grubbs é um teste estatístico, utilizado essencialmente para analisar a dispersão de valores dentro de uma dada medição. De uma forma geral, pretende verificar a existência de valores discrepantes nas extremidades do conjunto, ou seja, ou valores suspeitos corresponderão a máximos ou a mínimos da medição.

Ao se realizar uma primeira análise e for detectado um dos dois valores discrepantes, ele será automaticamente excluído do conjunto; de seguida novo teste será efectuado até que não se verifique a existência de mais nenhum outlier⁵.

Durante esta análise, os valores dos extremos serão comparados com o valor médio (\bar{x}) dividido pelo respectivo desvio padrão (s), de acordo com a seguinte equação (2.6) a seguir representada:

$$G_{\text{exp}} = \frac{|x_{\text{dúbio}} - \bar{x}|}{s} \quad (2.6)$$

Os valores obtidos experimentalmente serão comparados com os valores críticos constantes na norma ISO 5725, e as respectivas conclusões apresentadas de acordo com os seguintes critérios: se o valor experimentalmente obtido (G_{exp}) não exceder o respectivo valor crítico (G_{crit}), a hipótese nula (H_0) é aceite, e o valor dúbio não é considerado outlier; situações cujo valor experimental (G_{exp}) seja superior, a hipótese alternativa (H_1) é aceite, e o valor será

⁵ **Outliers** são valores que se afastam significativamente da distribuição normal, e podem afectar significativamente os resultados obtidos.

considerado outlier; nas situações que esteja compreendido entre o valor crítico, a 95% e a 99% de confiança, o valor será considerado suspeito [22 – 24]

2.6.2 Técnica do z-score

A técnica do Z-Scores, muito utilizado em programas de comparação interlaboratorial, permite analisar o desempenho técnico de todos os laboratórios participantes, analisando o desvio do resultado em relação ao valor de referência.

Considerando que estamos perante uma distribuição normal, facilmente se consegue obter o valor do índice z (z-score), para cada laboratório, recorrendo à seguinte equação:

$$z = \frac{x - \mu}{\sigma} \quad (2.7)$$

onde x representa o valor obtido experimentalmente por cada laboratório participante, μ corresponde ao valor de referência obtido pelo laboratório piloto, e σ representa o desvio padrão das n medições efectuadas pelo laboratório piloto. Nas situações cujo valor considerado como verdadeiro não exista, considera-se a média obtida pelo conjunto de todos os laboratórios.

Os resultados obtidos com o auxílio desta técnica, serão comparados com os seguintes valores: $|z| < 2$ apresenta um desempenho satisfatório, $2 < |z| < 3$ apresenta um desempenho questionável, e $|z| > 3$ apresenta um desempenho insatisfatório.

2.7 Equipamentos

O entendimento das condições necessárias para assegurar a confiança nos ensaios efectuados pelo laboratório é relevante para a detecção das causas das não conformidades.

Uma avaliação detalhada do estado de operacionalidade dos equipamentos de medição, é imprescindível uma vez que afectam de forma muito significativa a qualidade dos resultados apresentados ao cliente.

Para tal, é essencial que os equipamentos estejam sujeitos a calibração e/ou verificação.

De acordo com o Vocabulário Internacional de Metrologia a calibração é definida como uma “operação que, em condições especificadas, num primeiro passo, estabelece a relação entre os valores da grandeza com incertezas de medição provenientes de padrões e as correspondentes indicações com incertezas de medição associadas e, num segundo passo,

usa esta informação para estabelecer uma relação para obter o resultado da medição de uma indicação” [21].

Por outro lado, o mesmo documento define a verificação como uma “evidência objectiva de que uma dada entidade satisfaz os seus requisitos, incluindo a incerteza de medição” [21].

Este conjunto de operações deve estar analisado tendo em conta factores fundamentais como a rastreabilidade⁶ das medições, formação e competência do técnico, utilização de equipamentos com exactidões requeridas e instalações de armazenamento e de transporte adequadas.

Deste modo, somente o certificado de calibração e/ou de verificação de um equipamento não garantem a confiabilidade da medição efectuada, para tal é essencial criar internamente estratégias para validar os certificados dos respectivos equipamentos, e só depois serão considerados aptos para efectuar as medições.

Por outro lado, há que garantir que todo o software utilizado funciona correctamente, sem a presença de erros, visto que muitas vezes possuem um grande número de estados com fórmulas, actividades e algoritmos.

Idealmente, e de forma a efectuar um controlo mais rigoroso ao estado de todos os equipamentos de um laboratório, é essencial validar os softwares.

⁶ De acordo com o VIM, consiste numa propriedade de um resultado da medição através do qual o resultado pode ser relacionado a uma referência por uma documentada cadeia de calibrações, cada uma contribuindo para a incerteza de medição.

3. PROCEDIMENTOS

3. Procedimentos

Neste capítulo serão apresentados os procedimentos técnicos que serviram de base à aquisição e posterior tratamento dos resultados obtidos, com o auxílio dos respectivos equipamentos de medição e monitorização.

3.1 Material

A instrumentação utilizada na área de acústica (figura 3.1 a)) implica a interacção de um conjunto de equipamentos que devem funcionar coerentemente uns com os outros.

O caso em estudo envolve a utilização de um sonómetro analisador (figura 3.1 e)), de marca CESVA, modelo SC310, n.º de série T224832, portador do certificado de calibração n.º CACV22/11 e de verificação n.º 245.70/11.015. Este equipamento permite efectuar a medição dos níveis de pressão sonora.

Na maioria das situações, os técnicos que executam os ensaios deparam-se com um ruído de fundo resultante de um conjunto de sons específicos, sendo os mais comuns o tráfego rodoviário, o som resultante do diálogo entre as pessoas, ou até mesmo de equipamentos existentes no interior do edifícios.

Para além destas fontes sonoras, recorre-se essencialmente à fonte de pressão sonora (figura 3.1 d)) que emite um som característico em todas as direcções de propagação. Para tal, necessita de estar ligada a um gerador, também designado por pré-amplificador (figura 3.1 b)) através do qual se regula e controla os níveis da potência sonora emitida pela fonte.

Noutras situações mais específicas, para que se estude a propagação sonora entre dois compartimentos diferentes (receptor e emissor), sobrepostos entre si, recorre-se essencialmente à máquina de percussão de marca CESVA, modelo MI005, n.º de série T227682, portadora do certificado de calibração n.º EDIM535/10. Este equipamento apresenta características bem definidas, pois no seu interior podemos encontrar pesos (denominados por martelos) que caem sequencialmente entre si, provocando a propagação das ondas sonoras através dos constituintes do pavimento.



Figura 3.1 Fotografias de alguns dos equipamentos utilizados nos ensaios acústicos: a) ensemble de equipamentos utilizados em acústica; b) pré-amplificador; c) máquina de percussão; d) Fonte omnidireccional e e) Sonómetro analisador e calibrador acústico.

3.2 Procedimentos

Dentro do âmbito de actuação do laboratório, foram seleccionados três casos específicos de ensaios para estudo e análise dos resultados experimentalmente obtidos.

3.2.1 Nível sonoro médio de longa duração (Ensaio de comparação interlaboratorial)

Após a formalização da Inscrição nos ensaios de comparação interlaboratorial de 2010, referentes ao ensaio de Ruído Ambiente, foi marcada a data de realização para o dia 26 de Julho de 2010, nas instalações da ADAI, em Coimbra.

O laboratório dispôs de 4 (quatro) horas, durante o período diurno⁷, para caracterizar o parâmetro L_d ⁸ de Ruído Ambiente. Para tal, participaram 3 (três) técnicos.

O local de medição, foi devidamente apresentado pela Relacre, estando de acordo com o esquema seguinte, no qual se identifica a mesma na zona das lajetas de pavimento.

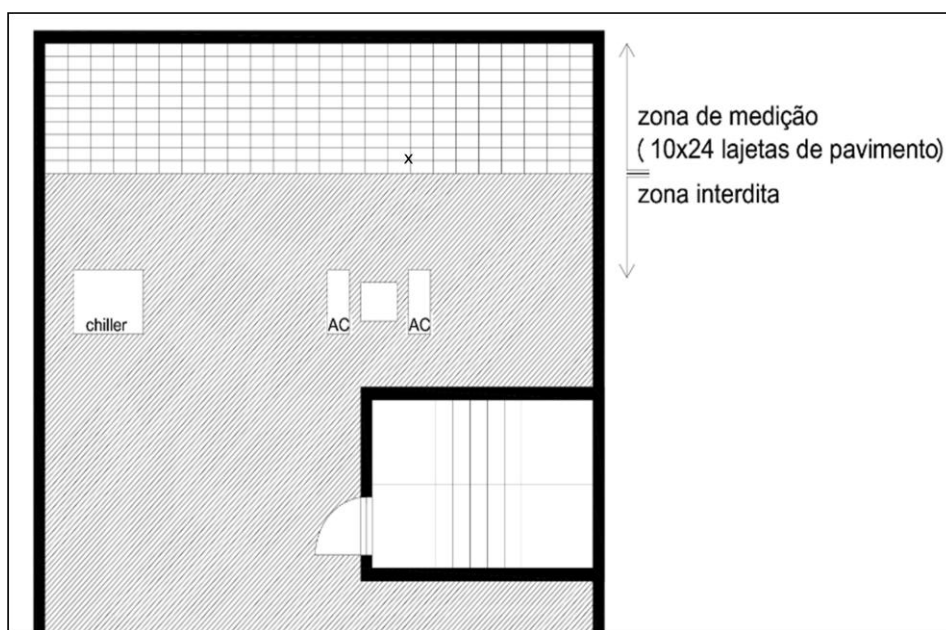


Figura 3.2 Representação esquemática da zona de medição:

Para tal, a medição foi efectuada num único ponto, com o microfone colocado a 4 m de altura durante um dada periodicidade, cuja duração acumulada fosse igual ou superior a 30

⁷ De acordo com o Decreto-Lei n.º 9/2007, de 17 de Janeiro, corresponde ao período entre as 7 h e as 20 h.

⁸ De acordo com o Decreto-Lei n.º 9/2007, de 17 de Janeiro, consiste no nível sonoro médio de longa duração, conforme definido na NP 1730-1, determinado durante uma série de períodos diurnos representativos de um ano.

minutos. Nunca esquecendo que o microfone deveria estar a pelo menos 3,5 m das superfícies reflectoras.

Durante o período de medição foi previamente analisado as direcções das fontes emissoras de ruído e as características das mesmas.

O número de medições a efectuar em cada ponto de medição é no mínimo de 3.

Posto isto determina-se o parâmetro em estudo recorrendo à seguinte equação:

$$L_{Aeq,LT} = 10 \log \left[\frac{1}{n} \sum_{i=1}^N 10^{0,1(L_{Aeq,T})_i} \right] \quad (3.1)$$

onde N representa o número de amostras do intervalo de referência e $(L_{Aeq,T})_i$ é o nível sonoro contínuo equivalente, ponderado A, na amostra i, em decibel.

3.2.2 Isolamento sonoro a sons de percussão (Auditoria de medição)

Ensaio efectuado com o auxílio de uma máquina de percussão, cujo impacto dos martelos emite um som característico. Este equipamento é colocado nos quatro cantos distintos do compartimento emissor, para que se identifique o canto mais ruidoso, no qual se efectuará uma segunda medição que nos indicará o número total de medições a efectuar em cada posição de medição.

A distância entre a máquina de percussão e os limites do pavimento deve ser de, pelo menos, 0,5 m. E o tempo de medição deverá ser igual ou superior a 6 s.

Na Figura 3.3 encontra-se representado esquematicamente o ensaio.

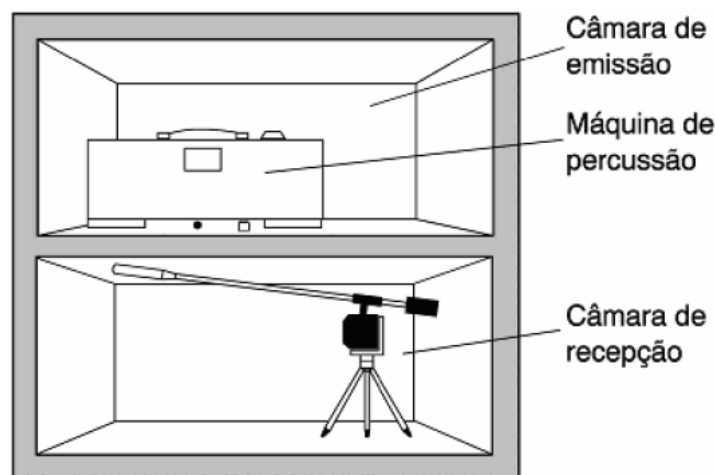


Figura 03.3 Esquema de medição.

No compartimento receptor (compartimento localizado por baixo do compartimento emissor) coloca-se o sonómetro para registar o nível de ruído, determinando-se o ruído de fundo (3 pontos de medição, cuja duração seja igual ou superior a 3 s, e em bandas de 1/3 de oitavas), o tempo de reverberação (3 pontos de medição para cada posição da fonte sonora, que dá um total de 12 medições) e o nível de pressão sonora no compartimento (6 pontos de medição, cuja duração seja igual ou superior a 6 s).

O nível de pressão sonora médio medido na sala receptora é determinado a partir da equação 3.2:

$$L_{nT} = L' - 10 \log \left(\frac{T}{T_0} \right) \quad (3.2)$$

onde L' representa o nível de pressão sonora médio medido na sala receptora, T_0 o tempo de reverberação de referência (geralmente igual a 0,5 s) e T o tempo de reverberação da sala receptora.

O cálculo do nível médio de pressão sonora é feito em bandas de 1/3 de oitava, normalmente entre as frequências de 100Hz e 3150Hz.

Após se obter o valor para cada banda de 1/3 de oitava dos índices L_{nT} , obtém-se um valor único do índice pelo ajustamento daqueles a uma curva de referência, de acordo com a norma NP EN ISO 717-2: 2009.

O cálculo do valor único do índice é efectuado ajustando a curva de referência com os valores obtidos experimentalmente, somando-se as diferenças negativas até se obter um valor igual ou inferior a 2dB.

O valor único do índice de isolamento sonoro corresponde ao valor da curva de referência ajustada da frequência dos 500 Hz.

Tabela 3. 1 Valores da curva de referência apresentados na NP EN ISO 717-2:2009 [25].

| Frequência (Hz) | Curva de referência (dB) |
|-----------------|--------------------------|
| 100 | 62,0 |
| 125 | 62,0 |
| 160 | 62,0 |
| 200 | 62,0 |
| 250 | 62,0 |
| 315 | 62,0 |
| 400 | 61,0 |
| 500 | 60,0 |
| 630 | 59,0 |
| 800 | 58,0 |
| 1000 | 57,0 |
| 1250 | 54,0 |
| 1600 | 51,0 |
| 2000 | 48,0 |
| 2500 | 45,0 |
| 3150 | 42,0 |

3.2.3 Isolamento a sons de condução aérea entre compartimentos (Ensaio Intralaboratoriais)

Para a quantificação do índice de isolamento sonoro a sons aéreos são necessárias duas salas, uma receptora e outra emissora. Na sala emissora são colocados microfones que medem o nível sonoro existente (L_1) na sala emissora e uma fonte emissora de som. Posteriormente, na sala receptora são colocados microfones, que medem o nível sonoro (L_2) que chega a essa sala, bem como o ruído de fundo (3 pontos de medição, cuja duração seja igual ou superior a 3 s, e em bandas de 1/3 de oitavas) e o tempo de reverberação.

O nível de pressão sonora no compartimento receptor e emissor (L_2 e L_1) é determinado através da selecção de 10 pontos de medição, cuja duração seja igual ou superior a 6 s.

Na Figura 3.4 representado esquematicamente o ensaio descrito anteriormente.

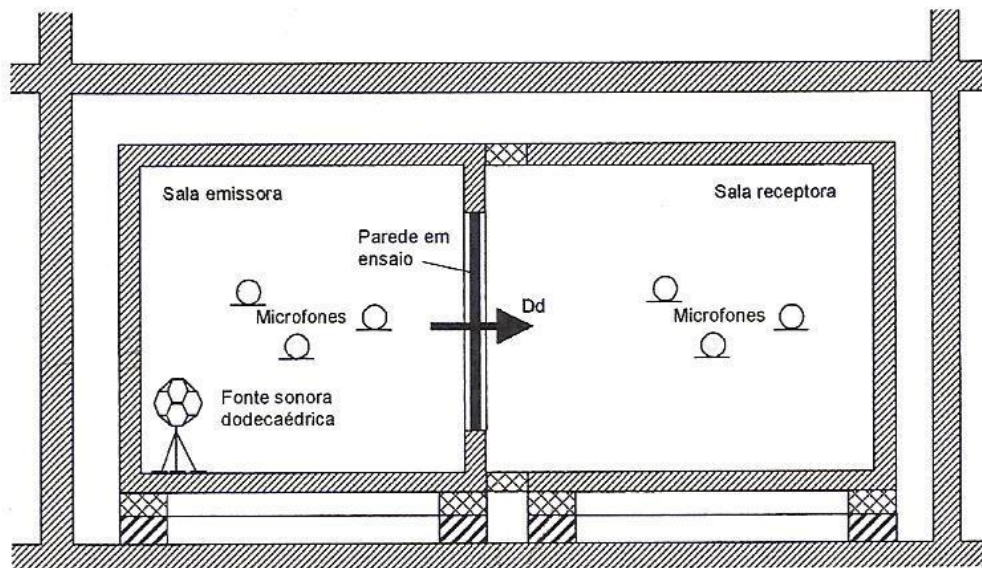


Figura 3.4 Esquema de medição

Para as medições efectuadas *in situ* e segunda a norma NP EN ISO 140-4:2009 [26], o índice de redução sonora aparente é igual a:

$$D_{nT} = L_1 - L_2 + 10 \log \left(\frac{T}{T_0} \right) \text{ dB} \quad (3.2)$$

onde L_1 representa o nível de pressão sonora no compartimento emissor, L_2 é o nível de pressão sonora no compartimento receptor, T é o tempo de reverberação no local receptor e T_0 é uma constante ($T_0=0,5\text{s}$).

De acordo com a norma NP EN ISO 140-4:2009 estes ensaios são efectuados em bandas de terço de oitava, entre as frequências de 100 e 3150Hz [26].

Para permitir a verificação dos valores obtidos com os requisitos legais é necessário obter um valor único. Para tal é essencial que se proceda ao ajuste da curva de referência (tabela 3.2) com os valores obtidos experimentalmente, como no caso do ensaio anterior, somando-se as diferenças negativas até se obter um valor igual ou inferior a 2dB.

O valor único do índice de isolamento sonoro corresponde ao valor da curva de referência ajustada da frequência dos 500 Hz.

Tabela 3.2 - Valores da curva de referência apresentados na norma NP EN ISO 717-1:2009 [26].

| Frequência (Hz) | Curva de referência (dB) |
|-----------------|--------------------------|
| 100 | 33,0 |
| 125 | 36,0 |
| 160 | 39,0 |
| 200 | 42,0 |
| 250 | 45,0 |
| 315 | 48,0 |
| 400 | 51,0 |
| 500 | 52,0 |
| 630 | 53,0 |
| 800 | 54,0 |
| 1000 | 55,0 |
| 1250 | 56,0 |
| 1600 | 56,0 |
| 2000 | 56,0 |
| 2500 | 56,0 |
| 3150 | 56,0 |

Contudo, este procedimento é repetido 15 (quinze) vezes, e dessas seleccionadas 5 (cinco) para efectuar os respectivos estudos estatísticos.

De seguida os resultados são analisados recorrendo a cartas de controlo, e só posteriormente se recorre ao teste de Grubbs para identificar possíveis outliers.

Posteriormente, das n medições finais selecciona-se 5 medições que nos auxiliaram na determinação da repetibilidade e da precisão intermédia. Os valores experimentalmente obtidos serão comparados com os mencionados na norma NP EN ISO 140-4:2009, sendo que os mesmos deverão ser sempre iguais ou inferiores aos valores apresentados nos referenciais normativos em causa [5].

4. ANÁLISE E DISCUSSÃO DE RESULTADOS

4. Análise e discussão de resultados

Neste capítulo, foi desenvolvida uma metodologia para a Gestão da Qualidade no laboratório. Com o intuito de fornecer informação útil, evitando o aparecimento de não conformidades (NC) e de trabalho não conforme, e conseqüentemente gastos desnecessários ao longo das suas actividades, foram implementadas várias ferramentas de controlo da qualidade, que contribuiram para uma análise mais detalhada dos processos, visando a melhoria contínua dos mesmos.

Primeiramente, analisa-se os resultados obtidos na validação de métodos e no controlo e gestão dos equipamentos de medição e monitorização. Para ambos os casos, é feita uma análise qualitativa e quantitativa, recorrendo ao tratamento estatístico. Por último, são analisadas e adoptadas as medidas necessárias para eliminar as causas das não conformidades detectadas ao longo deste estudo.

4.1 Ensaios de comparação interlaboratorial

O ciclo PDCA é uma ferramenta muito utilizada pela gestão de topo auxiliando na tomada de decisões, de forma a garantir o cumprimento das metas e dos objectivos a que a entidade se propõem cumprir.

Através do ciclo PDCA representado na Figura 4.1, foi possível descrever a sequência de etapas associadas aos ensaios de comparação interlaboratorial.

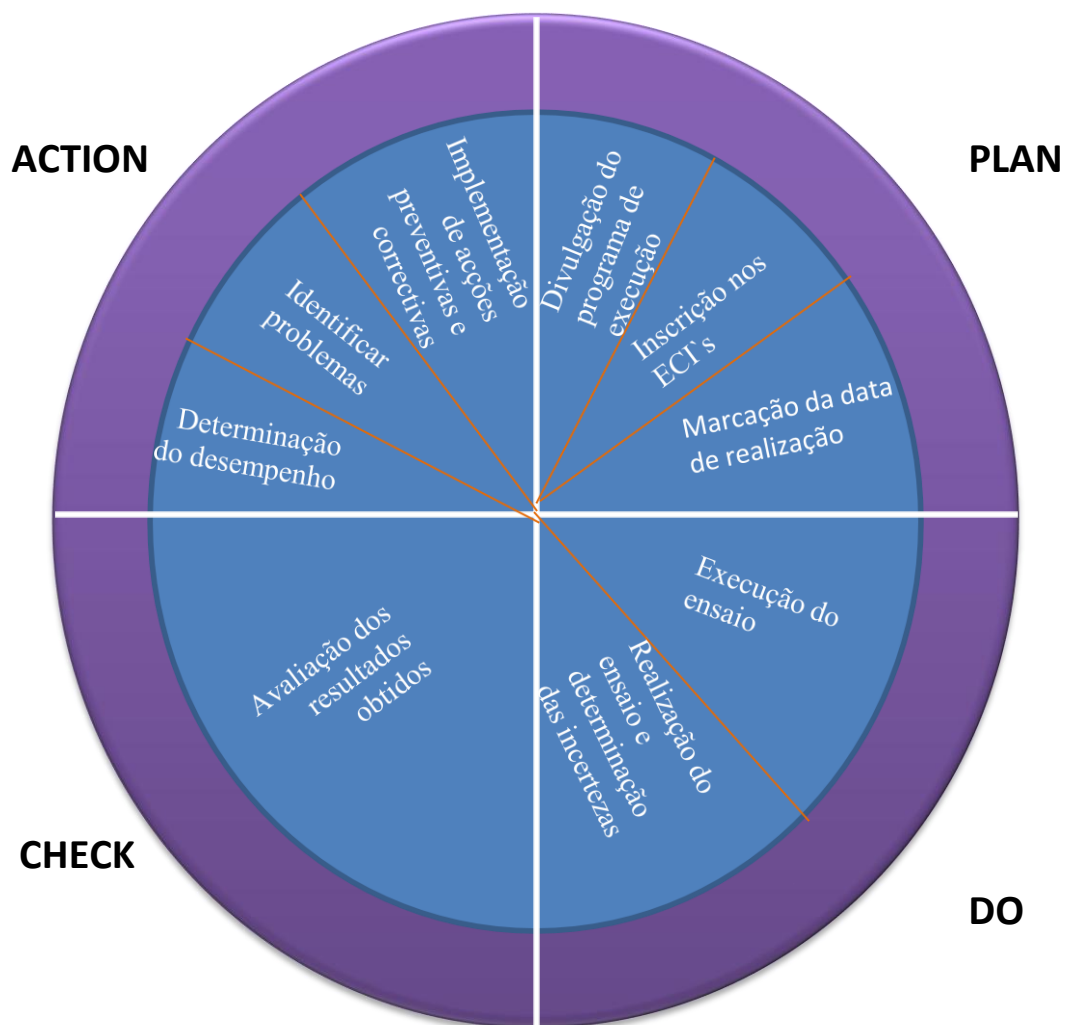


Figura 4.1 Ciclo PDCA associado aos ensaios de comparação interlaboratorial

A primeira etapa do ciclo consistiu no planeamento, que resumiu-se à preparação e divulgação das linhas orientadoras da execução técnica e administrativa do ensaio de acústica, para o ano de 2010.

Para tal, a Relacre (entidade organizadora do evento) compilou toda a informação relevante no Programa de Execução, de 2010, de Acústica – Ruído Ambiente [27], no qual os laboratórios interessados em participar tinham acesso aos prazos previamente estabelecidos, montantes associados, ficha de inscrição e descrição detalhada de todo o processo, desde o momento da inscrição do laboratório interessado até à recepção do relatório e respectivo código interno.

Os laboratórios interessados, que reunissem todas as condições de participação, formalizariam a sua inscrição junto da Relacre, até ao mês de Abril de 2010.

De acordo com a disponibilidade das instalações da ADAI, local de realização dos ensaios, foi comunicado a cada laboratório a data prevista para a realização do ensaio.

A segunda etapa consistiu na execução dos ensaios, por parte dos laboratórios participantes, durante o período que decorreu entre Maio de 2010 e Fevereiro de 2011. Nesta fase, cada laboratório dispunha de 4h para efectuar a medição, com os seus próprios equipamentos de trabalho.

Contudo, nesta fase o laboratório ainda apresentava muito trabalho a efectuar. Era necessário transferir os dados do sonómetro analisador para o computador de trabalho do técnico que executou a medição, tratamento de dados e posterior emissão do relatório de ensaio acompanhado das respectivas folhas de cálculo de incertezas. Tudo isto num prazo máximo de 5 dias úteis após a realização do ensaio.

Na etapa da verificação, a Relacre juntamente com o laboratório piloto, efectuou um tratamento de todos os resultados apresentados.

Os resultados experimentalmente obtidos pelos laboratórios foram estatisticamente avaliados recorrendo ao método do Z-score, onde o desempenho de cada laboratório foi obtido pela comparação da diferença entre o seu resultado (V_{Lab}) e o valor médio de referência diário⁹ do laboratório piloto (V_{Ref}), com o desvio padrão dos valores de referência diário (s). A partir do resultado obtido por cada laboratório, foi calculado o respectivo Z-score (Z), através da Equação 4.1:

$$z = \frac{V_{Lab} - V_{Ref}}{s} \quad (4.1)$$

Posto isto, a Relacre procedeu à emissão do relatório do ensaio interlaboratorial. A cada laboratório foi atribuído um código alfanumérico de forma a assegurar a confidencialidade dos resultados.

Para concluir, a última fase do processo (actuação) baseou-se na análise interna do relatório, examinando o desempenho apresentado.

De uma forma geral, e de acordo com os resultados apresentados no anexo A.2 e nas figuras 4.2 e 4.3 a seguir apresentadas, constatou-se a existência de laboratórios com

⁹ Medição efectuada durante o período diurno (7h-20h), com uma duração de 4horas.

desempenho questionável (L37, L48, L56 e L81) e com desempenho insatisfatório (L7, L13, L77 e L78).

Nestas situações cabe a cada laboratório recorrer à sua política de rastreabilidade, na qual analisa todos os passos efectuados durante a realização do ensaio, passando por uma análise do estado dos respectivos equipamentos, e terminando na análise dos procedimentos de medição associados. Por vezes, os equipamentos podem não ter sido sujeitos a calibração e/ou verificação, ou o procedimento de medição poderão não ser os mais adequados para o fim a que se destinam. Nestas situações, cabe a cada Laboratório estabelecer as devidas acções correctivas, para evitar que o problema se volte a repetir em posteriores ensaios.

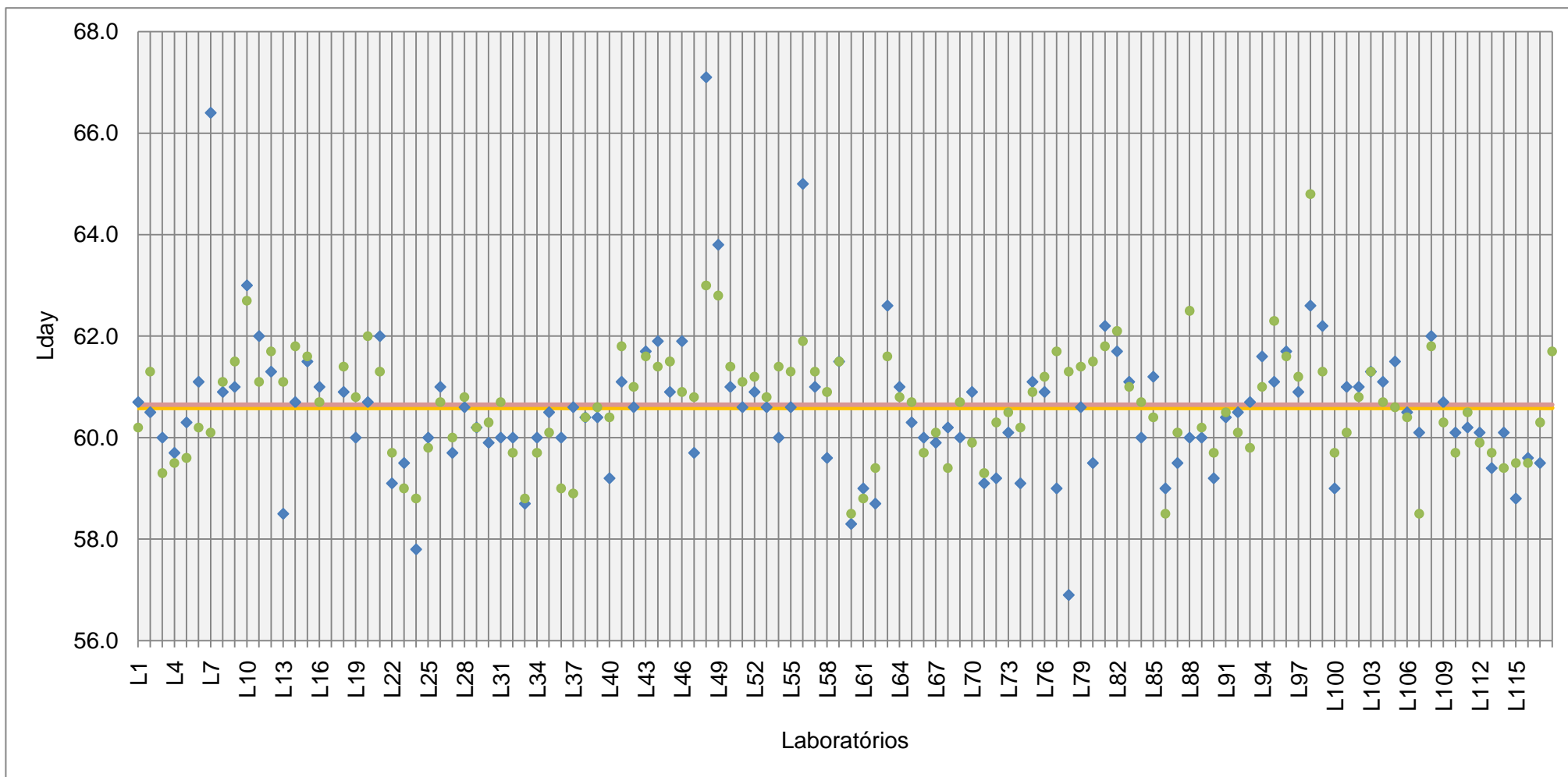


Figura 4.02 Resultados experimentalmente obtidos pelos 118 laboratórios participantes referentes ao parâmetro Lday: \blacklozenge valores experimentais e \bullet valores de referência; — média obtida e — média de referência.

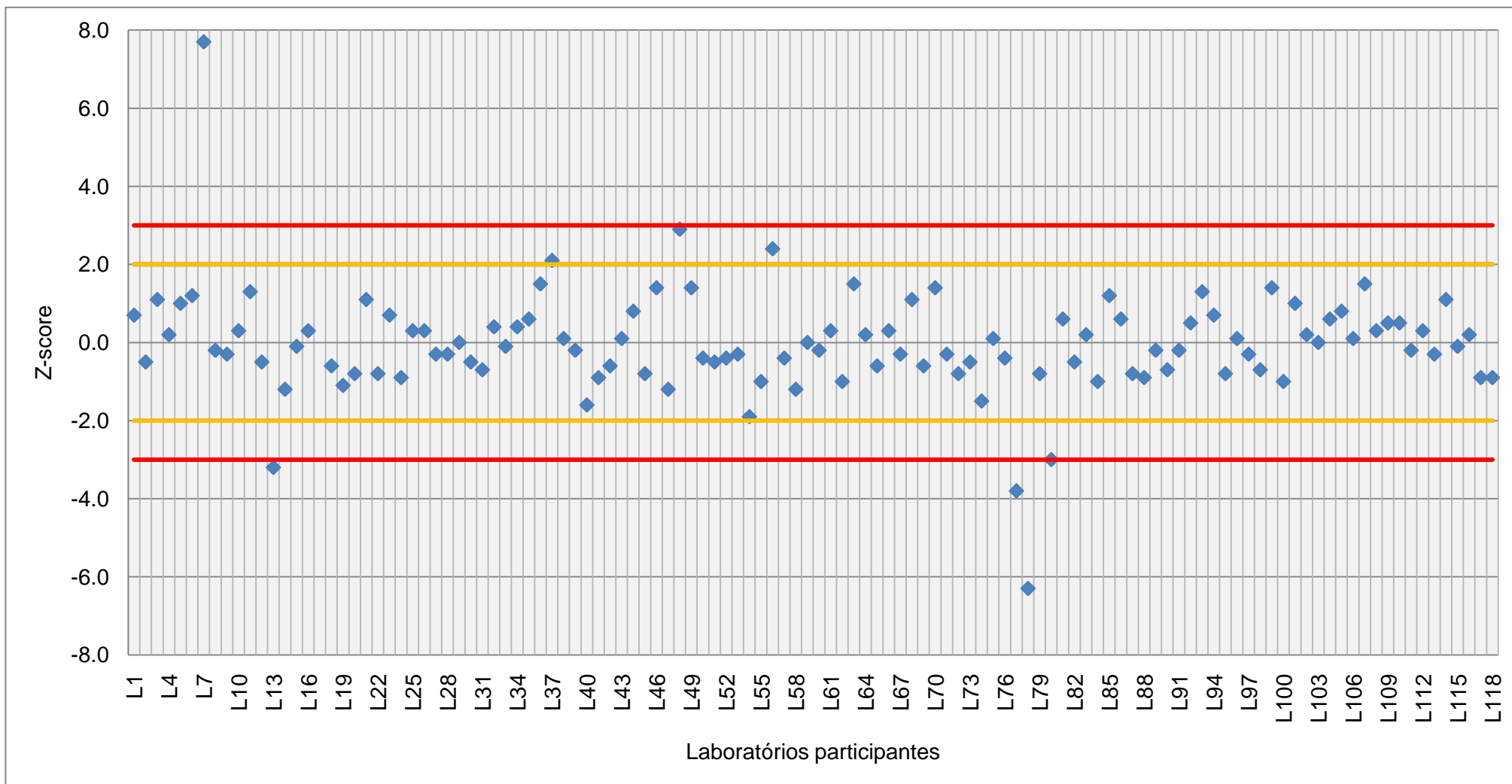


Figura 4.3 Z-scores

No caso específico (L24), o laboratório obteve um Z-score de -0,9 o que revela um excelente desempenho, sendo que a incerteza associada ao valor do parâmetro em estudo coincide com o valor obtido pelo laboratório piloto (4,5), considerando-se a existência de um procedimento de medição e de cálculo de incertezas correcto, abordando todas as possíveis fontes de incerteza que pudessem influenciar a medição.

Por outro lado, o treino e a formação que a equipa técnica apresenta, são requisitos fundamentais para assegurar a competência técnica no manuseio dos equipamentos de medição, na realização de ensaios, e posterior avaliação de resultados e emissão dos respectivos relatórios.

Como forma de qualificar os elementos envolvidos ao processo, o ensaio interlaboratorial foi efectuado por três técnicos distintos, comparando-se os diferentes resultados com os resultantes do relatório final.

Tabela 4.1 Comparação de resultados experimentalmente obtidos pelos diferentes técnicos

| Técnicos | Valores obtidos pela JL | Valores obtidos pelo laboratório piloto | | | Z-score |
|----------|-------------------------|-----------------------------------------|-----|-------|---------|
| | | Valor de referência | s | u_x | |
| T1 | 57,8 | 58,8 | 1,1 | 4,5 | -0,9 |
| T2 | 58,0 | | | | -0,7 |
| T3 | 57,6 | | | | -1,1 |

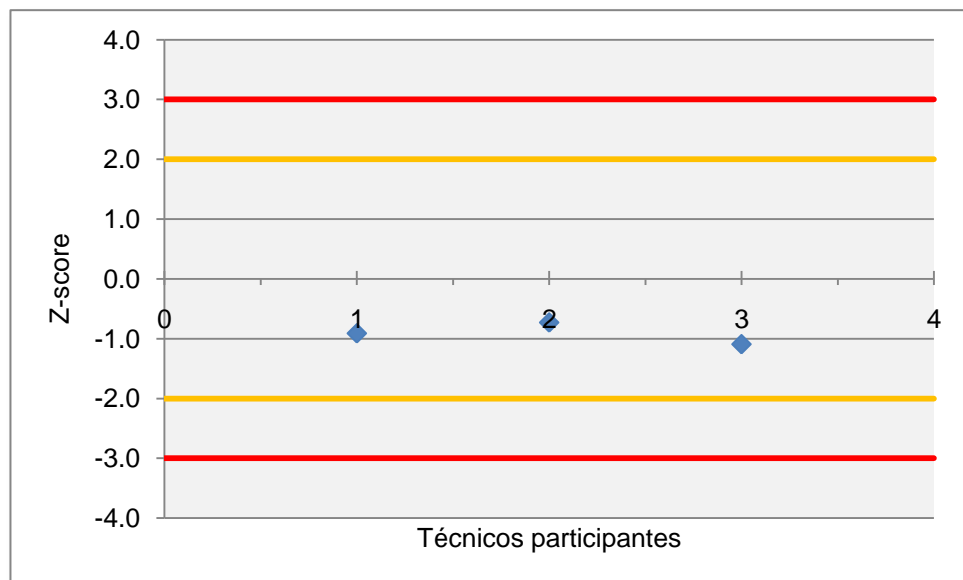


Figura 4.4 - Z-scores dos resultados obtidos pelos três técnicos participantes no ensaio de comparação interlaboratorial.

Analisando os resultados apresentados na Tabela 4.1 e na Figura 4.4 verifica-se que em ambos os casos o z-score obtido foi de -0,9 para o técnico 1, -0,7 para o técnico 2, e -1,1 para o técnico 3, que confirma o grau de competência de cada elemento para efectuar os ensaios em causa. Conclui-se que o procedimento efectuado não apresenta desvios e é o mais correcto para o fim a que se destina, bem como o pessoal que efectua as medições é competente e qualificado para a actividade que presta. Se tal não ocorre-se, seria necessário identificar as causas, e estabelecer as devidas acções que poderiam passar simplesmente pela formação dos elementos envolvidos, e revisão do Sistema de Gestão.

4.2 Auditorias de medição

As auditorias de medição são outra forma de validar os ensaios efectuados por um laboratório.

Em termos de etapas do processo, quase que não diferem do método anteriormente mencionado. A entidade entra em contacto com a Relacre, entidade fornecedora do serviço, para a realização do ensaio. Posteriormente, consoante a disponibilidade do laboratório piloto, será marcado a respectiva data.

O laboratório interessado realiza o ensaio, e no final emite e envia o relatório de ensaio. Contudo, associado ao valor de cada medição é necessário fazer referência à incerteza associada, analisar todas as possíveis fontes de variabilidade.

De entre os diferentes exemplos existentes, foi seleccionado um caso concreto para analisar, que diz respeito à incerteza associada ao isolamento sonoro a sons de percussão (L_{nT}), apresentado no anexo A.3. Neste caso específico e conhecendo o modelo matemático associado ($L_{nT} = L_i + 10 \lg \left(\frac{T}{T_0} \right) dB$) foi possível identificar a contribuição de três factores que afectam significativamente a grandeza em estudo, sendo eles: o equipamento de medição (sonómetro analisador), as medições (L_2 e T) e os arredondamentos efectuados. Recorrendo, por exemplo, ao diagrama de Ishikawa representado na Figura 4.5, facilmente se consegue observar as diferentes fontes de variabilidade para a mesuranda em estudo.

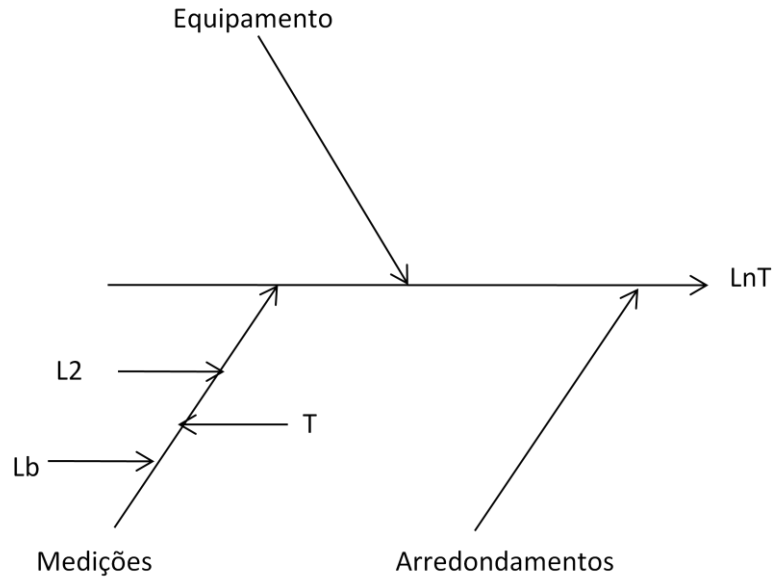


Figura 4.5 – Diagrama de Ishikawa para o isolamento sonoro a sons de percussão (L_nT).

Estas variáveis têm de ser devidamente analisadas, para que seja possível a correcta determinação da grandeza associada a cada uma. Para tal, e depois de um estudo mais exaustivo, conclui-se que estamos perante uma situação onde existem os dois tipos de incertezas: tipo A, como é o caso do parâmetro L_2 , L_b e de T , e do tipo B, como é o caso dos arredondamentos e da incerteza associado ao equipamento de medição (sonómetro analisador).

Posto isto, e de acordo com a informação apresentada no capítulo 2 da presente dissertação, facilmente se quantifica a incerteza associada a cada parâmetro, para tal há que recorrer às seguintes equações:

- a) Incerteza do nível médio de pressão sonora devido à acção da percussão (L_2):

$$u_{L_2} = \frac{s_{L_2}}{\sqrt{N}} \quad (4.2)$$

- b) Incerteza do tempo de reverberação (T):

$$u_T = 0,88 \times \sqrt{\frac{1 + \frac{1,9}{2}}{6 \times 0,23 \times f \times T}} \quad (4.3)$$

- c) Incerteza do equipamento de medição (sonómetro analisador):

$$u_{equip} = 1 \quad (4.4)$$

d) Incerteza associada aos arredondamentos:

$$u_{arred} = \frac{0,05}{\sqrt{3}} \quad (4.5)$$

E desta forma chegamos à incerteza combinada e posteriormente à incerteza expandida:

$$u_{c(L_{nT})} = \sqrt{\left(\frac{\partial L_{nT}}{\partial L_2}\right)^2 \times u_{L_2}^2 + \left(\frac{\partial L_{nT}}{\partial L_b}\right)^2 \times u_{L_b}^2 + \left(\frac{\partial L_{nT}}{\partial T}\right)^2 \times u_T^2 + u_{equip}^2 + u_{arred}^2} \quad (4.6)$$

$$\Leftrightarrow u_{c(L_{nT})} = \sqrt{c_1^2 \times u_{L_2}^2 + c_2^2 \times u_{L_b}^2 + c_3^2 \times u_T^2 + u_{equip}^2 + u_{arred}^2}$$

onde c_1 , c_2 e c_3 correspondem aos coeficientes de sensibilidade, que equivalem às derivadas parciais da função em ordem a cada grandeza em estudo.

Considerando, os valores obtidos para a frequência de 100Hz representados na tabela 4.2, e recorrendo à equação 4.6, facilmente se calcula a incerteza combinada:

$$u_{c(L_{nT})} = \sqrt{1,00^2 \times 0,84^2 + \left(\frac{4,30}{0,77}\right)^2 \times 0,12^2 + 1,00^2 + 0,03^2} = 1,47 \text{ dB} \quad (4.7)$$

Tabela 4.2 Incertezas associadas à frequência de 100Hz, 500Hz, 2000Hz, 2500Hz e 3150Hz.

| $u(L_2)$ | C_1 | $u(T_{20})$ | C_2 | $u(\text{Equip.})$ | $u(\text{Arred.})$ | $u_c(L_{nT})$ | Bandas de frequência |
|----------|-------|-------------|------------------------|--------------------|--------------------|---------------|----------------------|
| 0,84 | | 0,12 | | | | 1,47 | 100Hz |
| 1,33 | | 0,05 | $\frac{4,30}{\bar{T}}$ | 1,00 | 0,03 | 1,69 | 500Hz |
| 2,06 | 1,00 | 0,02 | $= 5,60$ | | | 2,29 | 2000Hz |
| 2,07 | | 0,02 | | | | 2,30 | 2500Hz |
| 2,42 | | 0,02 | | | | 2,62 | 3150Hz |

Para um factor de cobertura $k=2$, correspondente a um nível de confiança de aproximadamente 95%, é possível quantificar a incerteza expandida:

$$U = 2 \times u_c = 2 \times 1,47 = 2,9\text{dB} \quad (2.8)$$

Considerando os resultados da tabela 4.2, referentes à uma selecção aleatório das bandas de frequência em três zonas distintas (baixa, média e altas frequências), e recorrendo

ao gráfico de barras apresentado na Figura 4.6, facilmente se identifica o peso que cada parâmetro na incerteza combinada.

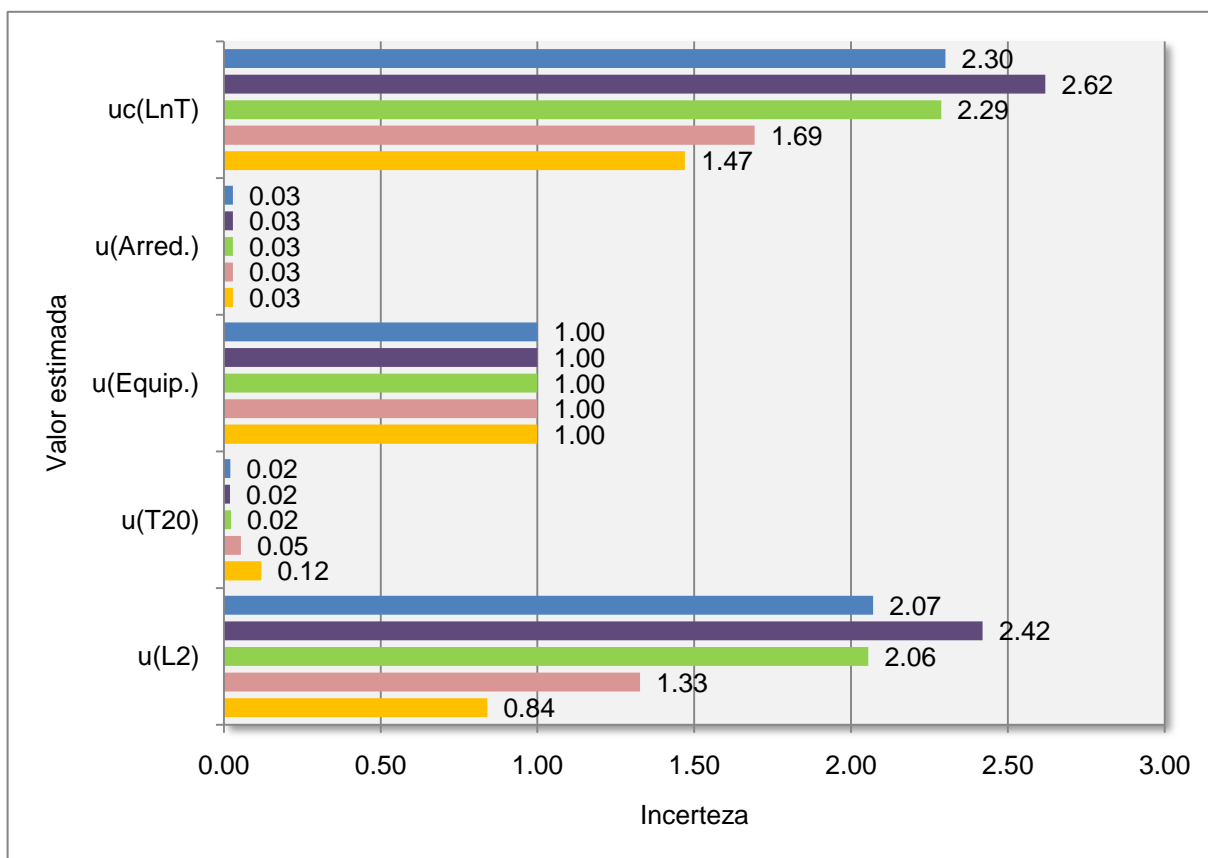


Figura 4.6 Gráfico de barras representativo do peso da contribuição de cada componente, para as bandas de frequência de 2500Hz, 3150Hz, 2000Hz, 500Hz e 100Hz.

Analisando os dados representados na Figura 4.7, facilmente se conclui que o parâmetro L_2 é o factor que mais contribui para a incerteza combinada. De seguida surge-nos o sonómetro analisador, posteriormente o parâmetro T20 e os arredondamentos, tendo este um papel pouco significativo. Contudo, também tem de ser contabilizado.

Deste modo, após a realização dos ensaios e posterior recepção do relatório, os dados deverão ser devidamente analisados, sendo essencial a criação de folhas de cálculo para detecção de eventuais problemas nos equipamentos e nos procedimentos.

De acordo com os resultados do relatório final, emitido pela entidade organizadora do evento e a seguir mencionados na tabela 4.3, constatou-se a existência de valores cujo z - score colocavam em causa os equipamentos utilizados para efectuar a medição e também o

procedimento de ensaio. Para facilitar a visualização destes resultados, recorreu-se à representação gráfica dos z-scores obtidos para cada banda de frequência, de acordo com a Figura 4.7.

Tabela 4.3 Resultados obtidos na auditoria de medição, para o ensaio de isolamento sonoro padronizado a sons de percussão.

| Frequência (Hz) | Laboratório piloto | | | JL | Z-score |
|-----------------|--------------------|--------|---------------------|-----------|---------|
| | Parâmetro | s (dB) | s ² (dB) | Parâmetro | |
| 100 | 48,0 | 1,2 | 1,4 | 46,4 | -1,3 |
| 125 | 51,7 | 2,2 | 4,8 | 52,0 | 0,1 |
| 160 | 53,1 | 1,4 | 2,0 | 52,2 | -0,6 |
| 200 | 53,3 | 1,4 | 2,0 | 52,0 | -0,9 |
| 250 | 54,7 | 1,5 | 2,3 | 53,8 | -0,6 |
| 315 | 55,7 | 2,4 | 5,8 | 54,7 | -0,4 |
| 400 | 57,3 | 1,6 | 2,6 | 58,0 | 0,4 |
| 500 | 59,4 | 1,3 | 1,7 | 59,6 | 0,2 |
| 630 | 58,8 | 1,6 | 2,6 | 57,8 | -0,6 |
| 800 | 58,3 | 1,6 | 2,6 | 58,1 | -0,1 |
| 1000 | 57,4 | 1,2 | 1,4 | 57,5 | 0,1 |
| 1250 | 57,4 | 1,0 | 1,0 | 58,0 | 0,6 |
| 1600 | 57,2 | 0,9 | 0,8 | 58,8 | 1,8 |
| 2000 | 57,0 | 1,0 | 1,0 | 59,3 | 2,3 |
| 2500 | 55,7 | 1,0 | 1,0 | 57,8 | 2,1 |
| 3150 | 52,2 | 1,2 | 1,4 | 54,2 | 1,7 |
| Valor global | 62,0 | 0,9 | 0,8 | 64,0 | 2,2 |

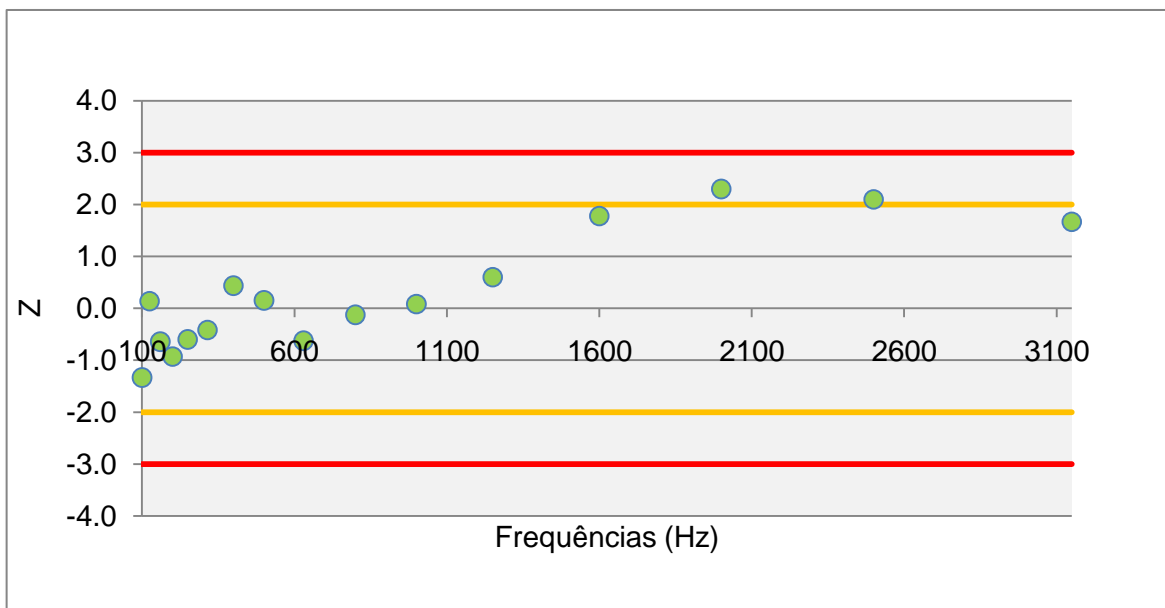


Figura 4.7 Z-scores obtidos na auditoria de medição pelo laboratório da Jorge Loureiro.

Analisando os resultados, verificou-se que na maioria das bandas de frequência obteve-se um desempenho satisfatório, com excepção da banda de frequência de 2000Hz, 2500Hz e do valor global cujo desempenho foi questionável. No último caso a situação é um pouco preocupante, uma vez que põem em causa alguns dos factores anteriormente mencionados.

Representando graficamente o desvio-padrão obtido pelo laboratório piloto para as diferentes bandas de frequência, na Figura 4.8, verificou-se que para as bandas mais problemáticas (de 2000Hz e de 2500Hz) o desvio-padrão obtido apresenta valores muito baixos, afectando de forma muito significativa o valor do z-score.

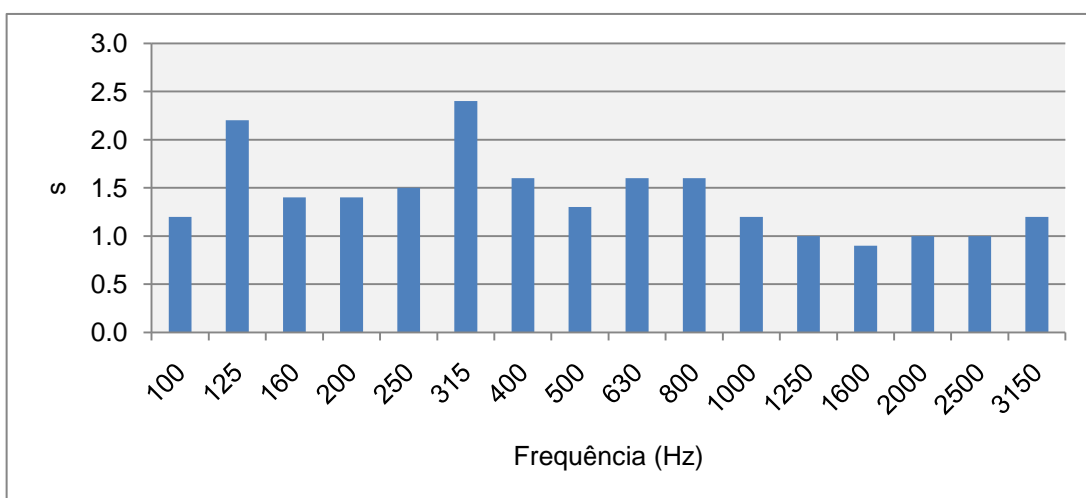


Figura 4.8 Desvio-padrão do laboratório piloto.

Por outro lado, recorrendo ao gráfico da Figura 4.9, realizou-se uma análise entre os valores obtidos pelo laboratório piloto e os valores dos desvios padrão (dispersões) para cada uma das bandas de frequência. Estes resultados foram então comparados com os resultados obtidos experimentalmente pelo laboratório em estudo, concluindo-se, que para as bandas de frequência de 2000Hz e de 2500Hz os valores se encontravam fora da gama de trabalho. Este resultado deve-se, possivelmente, à existência de interferências ao longo da medição.

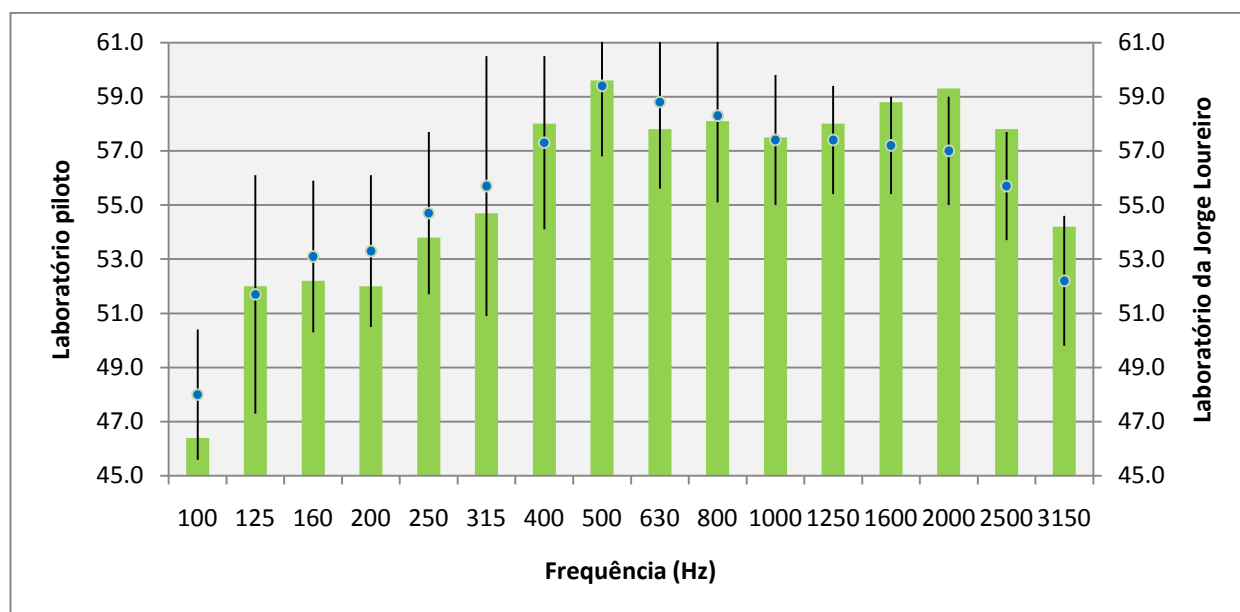


Figura 4.9 Dispersão de resultados apresentados pelo laboratório piloto e pelo laboratório em estudo.

O tratamento eficaz e eficiente desta não-conformidade detectada, resultante de trabalho não-conforme, é um passo essencial e indispensável, que assegura a qualidade dos resultados perante os clientes. Além disso, evidencia a competência do laboratório na realização de ensaios, revelando o envolvimento de todos os elementos associados ao processo.

O fluxograma correspondente ao tratamento da não conformidade anterior, apresentado nas tabelas 4.4 e 4.5, é importante para a implementação eficaz das acções pertinentes à realização do ensaio. Este fluxograma encontra-se dividido em cinco fases distintas, mencionando a identificação da não-conformidade e todo o caminho percorrido até à conclusão da ocorrência, retomando na realização de ensaios (respeitando os requisitos 4.9 e 4.11 do referencial normativo NP EN ISO/IEC 17025:2005) [28].

Tabela 4.4 Fluxograma de tratamento das não-conformidades detectadas após a análise e recepção do relatório da Relacre

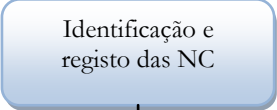
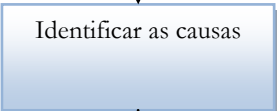
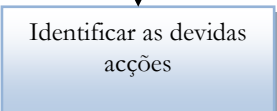
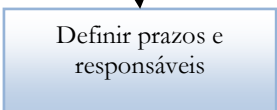
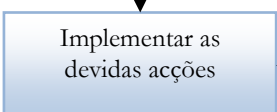

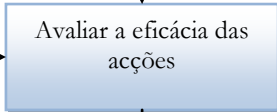

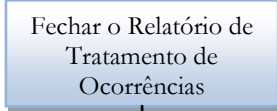
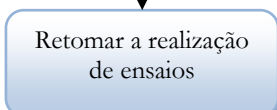
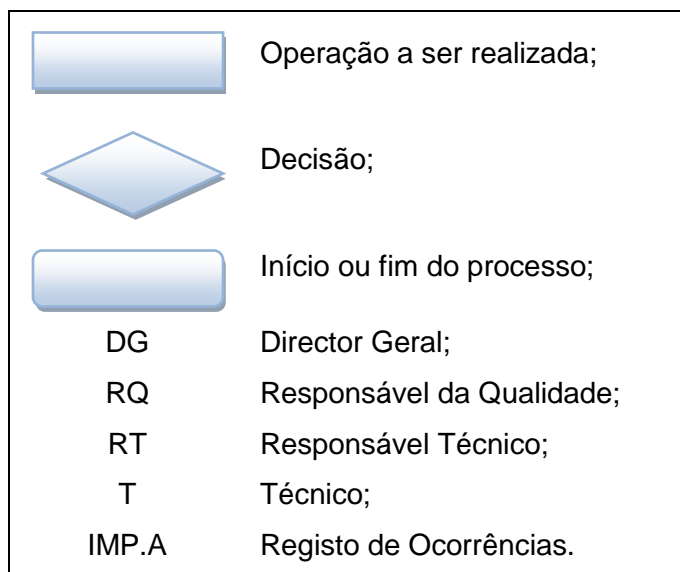
| Fases | Fluxograma | Responsáveis | Documentos associados |
|-------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------|-----------------------|
| 1 |  | RQ RT | IMP.A |
| 2 |    | DG RT RQ T | IMP.A |
| 3 |  | RQ RT | PT.1 |
| 4 |    | RQ RT | IMP.A |
| 5 |   | RQ | IMP.A |

Tabela 4.5 Legenda do fluxograma associado ao tratamento das não conformidades.



Numa primeira fase, o Responsável da Qualidade (RQ) ou o Responsável Técnico (RT) identifica e regista (no IMP.A – Registo de Ocorrências) a não-conformidade detectada, resultante da auditoria de medição ao ensaio de isolamento sonoro a sons de percussão.

Na segunda fase, todos os elementos envolvidos reúnem-se para identificar as eventuais causas da não conformidade detectada. De uma forma geral, a identificação e análise da causa constituem a parte mais importante e também mais difícil deste processo. Na maioria dos casos, esta identificação não é óbvia e, portanto, é necessário uma análise cuidadosa de todas as potenciais causas.

Para facilitar essa análise, recorreu-se à técnica da tempestade de ideias, chegando-se a algumas conclusões que se encontram registadas na tabela 4.5.

Tabela 4.5– Hipóteses resultantes da técnica da tempestade de ideias

- Diferentes tipos de pavimento;
- Selecção de pontos incorrecta;
- Procedimento de medição incorrecto;
- Avaria da máquina de percussão;
- Calibração da máquina de percussão;
- Avaria do sonómetro analisador.

Para facilitar a visualização e análise de todas as hipóteses, as conclusões previamente mencionadas foram organizadas e esquematizadas na Figura 4.10 sob a forma de um diagrama de árvore. Através desta representação, foi possível identificar o peso que cada equipamento poderia apresentar, verificando que alguns deles apresentavam uma contribuição quase nula.

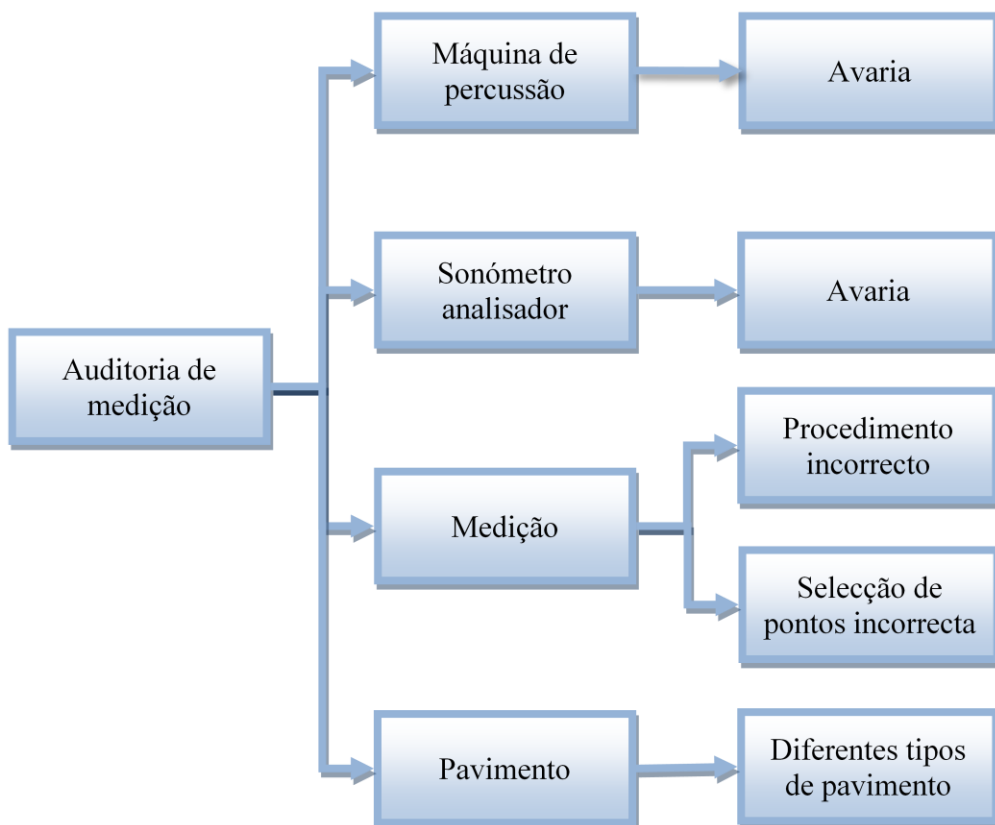


Figura 4.10 - Diagrama de árvore representativo das hipóteses resultantes da tempestade de ideias.

O sonómetro analisador foi o primeiro tópico a ser rejeitado, visto que o equipamento tinha sido reparado no início do corrente ano e posteriormente foi submetido a calibração e à verificação. Após a análise dos certificados e validação dos mesmos, não foram registados factores que pudessem interferir no ensaio.

Quanto à máquina de percussão, a sua calibração foi efectuada a 5 de Julho de 2010, não apresentando até ao momento nenhuma avaria, nem nenhuma situação anómala durante a realização dos ensaios.

Relativamente ao procedimento, após uma leitura pormenorizada das normas (NP EN ISO 140-7: 2008 e NP EN ISO 717-2: 2009) de suporte deste ensaio e após o esclarecimento de dúvidas junto de peritos da área concluiu-se, que o procedimento efectuado era o mais correcto [25] [29].

Por fim, após a análise pormenorizada das fotografias tiradas durante a realização do ensaio concluiu-se, que o desempenho questionável resultou de uma incorrecta selecção dos pontos de medição, dado que a máquina de percussão foi colocada numa zona composta por dois pisos distintos (como na Figura 4.11) promotores da discrepância de resultados.

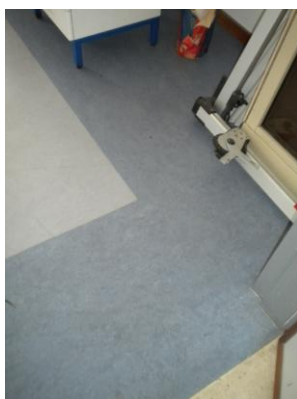


Figura 4.11 – Fotografia evidencia os diferentes tipos de pisos no local de medição.

Assim, é essencial determinar as acções a estabelecer (correções, acções preventivas ou acções correctivas), os seus prazos de implementação e os responsáveis pelos mesmos.

A acção correctiva a ser implementada, neste caso específico, baseou-se na revisão do procedimento técnico (PT.1 – Isolamento sonoro a sons de percussão), registando-se no mesmo, que a escolha e selecção das posições de medição devem ser seleccionadas aleatoriamente, com cuidados acrescidos nas situações pontuais cujos pavimentos apresentem características distintas.

Na quarta fase, analisa-se o cumprimento dos prazos inicialmente estipulados e efectua-se a avaliação da eficácia da acção tomada, registando-se todos os documentos a serem alterados, e as respectivas datas de aprovação. Nesta fase, verifica-se se as acções implementadas foram eficazes, passando por exemplo pelo acompanhamento da realização de ensaios, por um período trimestral. Caso se averigúe que o problema permanece, novas acções devem ser tomadas.

Na última fase, procede-se ao encerramento do IMP.A, registando-se a data de encerramento do processo e as respectivas conclusões associadas.

No final do processo concluído, o laboratório pode retomar a realizar os ensaios.

4.3 Ensaio de comparação intralaboratoriais

Após a realização do ensaio de isolamento a sons aéreos entre compartimentos, efectuado por dois técnicos distintos, em iguais períodos de medição, com os mesmos equipamentos e recorrendo aos mesmos procedimentos de medição, foram obtidos os resultados apresentados nas tabelas 4.6 e 4.7.

Tabela 4.6 Resultados experimentalmente obtidos pelo técnico 1.

| f (Hz) | Ensaio 1 | Ensaio 2 | Ensaio 3 | Ensaio 4 | Ensaio 5 | Ensaio 6 | Ensaio 7 | Ensaio 8 | Ensaio 9 | Ensaio 10 | Ensaio 11 | Ensaio 12 | Ensaio 13 | Ensaio 14 | Ensaio 15 |
|---------------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|
| 100 | 48,9 | 47,4 | 48,4 | 48,4 | 46,9 | 49,4 | 39,4 | 49,1 | 47,1 | 47,2 | 48,7 | 48,3 | 48,0 | 46,5 | 48,5 |
| 125 | 45,2 | 44,1 | 44,4 | 45,2 | 45,7 | 45,6 | 45,2 | 46,0 | 46,8 | 45,4 | 45,6 | 44,3 | 46,4 | 45,2 | 45,7 |
| 160 | 51,3 | 49,8 | 50,7 | 50,3 | 50,3 | 51,5 | 50,5 | 51,1 | 51,8 | 49,7 | 50,9 | 50,8 | 50,4 | 50,2 | 51,0 |
| 200 | 51,4 | 51,0 | 51,0 | 51,6 | 51,8 | 52,8 | 51,7 | 52,9 | 51,5 | 51,7 | 51,7 | 51,6 | 52,7 | 51,3 | 51,5 |
| 250 | 49,6 | 49,3 | 50,7 | 50,3 | 50,1 | 50,2 | 49,8 | 50,4 | 50,8 | 49,5 | 49,7 | 50,3 | 49,7 | 50,3 | 50,0 |
| 315 | 51,2 | 50,2 | 51,9 | 52,1 | 51,9 | 51,7 | 51,5 | 52,2 | 51,6 | 51,7 | 51,4 | 51,3 | 50,8 | 51,5 | 51,0 |
| 400 | 55,5 | 55,7 | 56,1 | 56,6 | 56,3 | 55,6 | 55,8 | 55,7 | 55,8 | 55,5 | 55,6 | 56,2 | 55,4 | 55,7 | 55,8 |
| 500 | 59,1 | 58,5 | 59,1 | 58,1 | 58,6 | 58,0 | 58,6 | 58,3 | 57,9 | 58,6 | 58,9 | 58,3 | 59,0 | 58,9 | 59,1 |
| 630 | 68,4 | 67,6 | 68,5 | 67,9 | 68,3 | 68,9 | 67,4 | 68,8 | 69,0 | 68,5 | 68,9 | 68,0 | 68,5 | 67,4 | 68,8 |
| 800 | 66,9 | 66,9 | 68,6 | 67,5 | 69,0 | 69,0 | 68,1 | 69,4 | 69,2 | 69,4 | 69,9 | 68,4 | 68,5 | 67,8 | 68,5 |
| 1000 | 68,3 | 66,7 | 70,0 | 68,7 | 70,8 | 70,4 | 69,7 | 71,1 | 70,4 | 70,8 | 70,6 | 69,2 | 70,2 | 68,8 | 69,8 |
| 1250 | 69,8 | 69,5 | 72,2 | 68,5 | 72,9 | 72,0 | 70,8 | 73,8 | 72,3 | 73,2 | 72,9 | 69,9 | 71,1 | 69,6 | 70,3 |
| 1600 | 70,8 | 63,0 | 73,6 | 70,1 | 73,3 | 73,7 | 72,2 | 74,7 | 73,6 | 73,8 | 74,8 | 71,4 | 72,5 | 70,0 | 72,8 |
| 2000 | 69,5 | 63,0 | 72,3 | 68,8 | 73,0 | 72,2 | 71,4 | 73,3 | 72,9 | 73,2 | 73,7 | 69,5 | 71,1 | 70,3 | 73,1 |
| 2500 | 68,1 | 70,5 | 71,0 | 67,3 | 71,6 | 70,6 | 69,3 | 71,7 | 71,0 | 71,1 | 72,0 | 68,9 | 69,8 | 67,4 | 71,6 |
| 3150 | 66,8 | 69,6 | 70,0 | 66,8 | 70,0 | 69,5 | 67,4 | 70,2 | 69,8 | 69,8 | 70,3 | 67,4 | 68,6 | 62,3 | 70,3 |
| Valor global | 63,0 | 62,0 | 63,0 | 63,0 | 63,0 | 63,0 | 63,0 | 64,0 | 64,0 | 63,0 | 63,0 | 63,0 | 63,0 | 63,0 | 63,0 |

Tabela 4.7 - Resultados experimentalmente obtidos pelo técnico 2.

| f (Hz) | Ensaio 1 | Ensaio 2 | Ensaio 3 | Ensaio 4 | Ensaio 5 | Ensaio 6 | Ensaio 7 | Ensaio 8 | Ensaio 9 | Ensaio 10 | Ensaio 11 | Ensaio 12 | Ensaio 13 | Ensaio 14 | Ensaio 15 |
|---------------------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| 100 | 47,0 | 48,8 | 48,7 | 49,5 | 48,4 | 47,3 | 48,4 | 47,8 | 46,9 | 49,0 | 48,2 | 42,3 | 48,0 | 43,0 | 48,4 |
| 125 | 45,2 | 45,5 | 45,3 | 45,3 | 47,1 | 45,2 | 44,2 | 45,2 | 45,6 | 46,9 | 45,8 | 44,9 | 46,9 | 45,3 | 46,2 |
| 160 | 51,3 | 51,9 | 51,7 | 52,4 | 51,1 | 51,4 | 51,2 | 51,4 | 51,1 | 52,2 | 52,2 | 51,2 | 52,0 | 50,8 | 51,7 |
| 200 | 52,0 | 51,3 | 51,9 | 52,9 | 51,6 | 51,0 | 50,8 | 52,4 | 51,5 | 51,6 | 50,2 | 51,7 | 51,2 | 50,6 | 50,9 |
| 250 | 49,0 | 49,9 | 49,3 | 49,7 | 49,4 | 49,1 | 49,3 | 48,7 | 49,5 | 49,6 | 49,0 | 49,5 | 49,3 | 48,9 | 49,9 |
| 315 | 51,9 | 52,1 | 52,2 | 51,5 | 52,0 | 52,4 | 52,1 | 51,9 | 52,0 | 51,8 | 51,8 | 51,9 | 52,1 | 51,5 | 51,6 |
| 400 | 56,0 | 55,3 | 56,1 | 55,6 | 56,7 | 56,2 | 56,2 | 56,6 | 55,4 | 56,2 | 55,7 | 56,0 | 56,1 | 56,0 | 55,5 |
| 500 | 58,7 | 57,8 | 57,6 | 57,7 | 58,7 | 58,2 | 58,5 | 58,1 | 57,8 | 59,0 | 58,3 | 58,1 | 58,4 | 57,7 | 59,1 |
| 630 | 66,7 | 68,0 | 67,5 | 67,9 | 67,6 | 67,4 | 67,9 | 67,0 | 67,1 | 67,4 | 67,7 | 67,6 | 65,8 | 67,4 | 68,3 |
| 800 | 69,0 | 69,7 | 70,5 | 70,1 | 69,3 | 69,2 | 70,2 | 70,1 | 68,9 | 68,9 | 70,6 | 70,1 | 66,7 | 69,0 | 69,7 |
| 1000 | 68,8 | 71,2 | 71,5 | 71,4 | 70,0 | 70,6 | 71,3 | 71,1 | 69,9 | 69,1 | 71,9 | 70,4 | 66,7 | 69,1 | 70,7 |
| 1250 | 68,8 | 72,1 | 74,0 | 73,1 | 71,2 | 71,8 | 72,7 | 72,3 | 70,9 | 71,5 | 73,4 | 72,5 | 70,0 | 69,4 | 72,9 |
| 1600 | 70,3 | 73,0 | 74,8 | 73,2 | 71,9 | 69,9 | 72,7 | 73,3 | 71,0 | 72,5 | 73,7 | 73,2 | 66,7 | 69,6 | 72,6 |
| 2000 | 69,1 | 72,1 | 73,5 | 72,5 | 71,4 | 70,8 | 72,8 | 72,5 | 70,6 | 71,2 | 72,9 | 71,7 | 66,9 | 69,6 | 71,7 |
| 2500 | 68,0 | 70,0 | 71,6 | 71,3 | 69,3 | 67,8 | 71,5 | 70,5 | 68,7 | 69,2 | 71,4 | 71,0 | 68,5 | 69,4 | 70,5 |
| 3150 | 67,7 | 68,6 | 70,4 | 70,3 | 68,7 | 64,8 | 70,4 | 69,4 | 67,0 | 68,3 | 70,4 | 70,0 | 67,6 | 69,0 | 69,6 |
| Valor global | 63,0 | 63,0 | 63,0 | 63,0 | 64,0 | 63,0 | 63,0 | 63,0 | 63,0 | 64,0 | 63,0 | 63,0 | 63,0 | 63,0 | 63,0 |

Antes de prosseguir propriamente para a análise estatística dos resultados obtidos, é essencial a detecção de valores aberrantes, recorrendo por exemplo ao teste de Grubbs.

De acordo com este teste, obteve-se experimentalmente valores (G_{exp}) superiores aos respectivos valores críticos (G_{crit}), confirmando-se a aceitação da hipótese alternativa. Os valores detectados, e devidamente assinalados a cor de laranja nas tabelas 4.6 e 4.7, foram previamente eliminados.

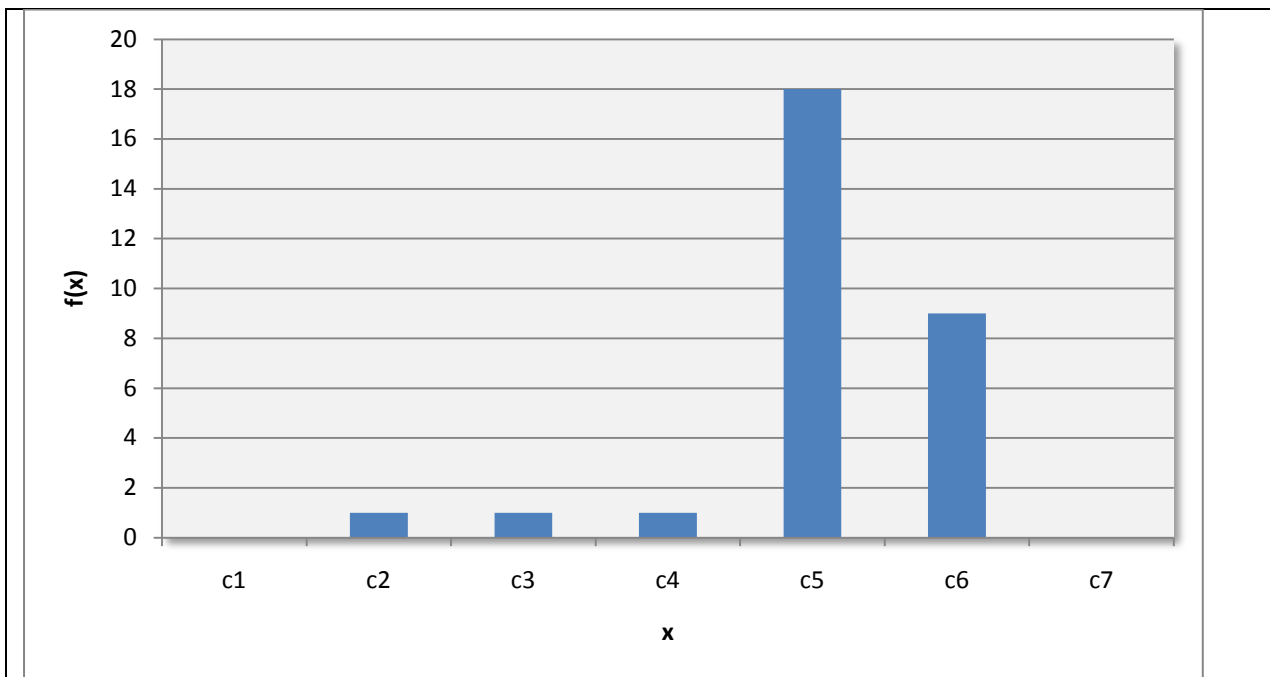
Com o objectivo de conhecer as distribuições de frequência em torno das bandas de frequência de 100Hz e 125Hz, procedeu-se à análise estatística dos dados experimentalmente obtidos, com recurso a histogramas da Figura 4.12, construídos tabelando-se os dados em intervalos previamente definidos (tabela 4.8 e 4.9).

Tabela 4.8 -Nível sonoro obtido pelas diferentes classes, para a frequência de 100Hz.

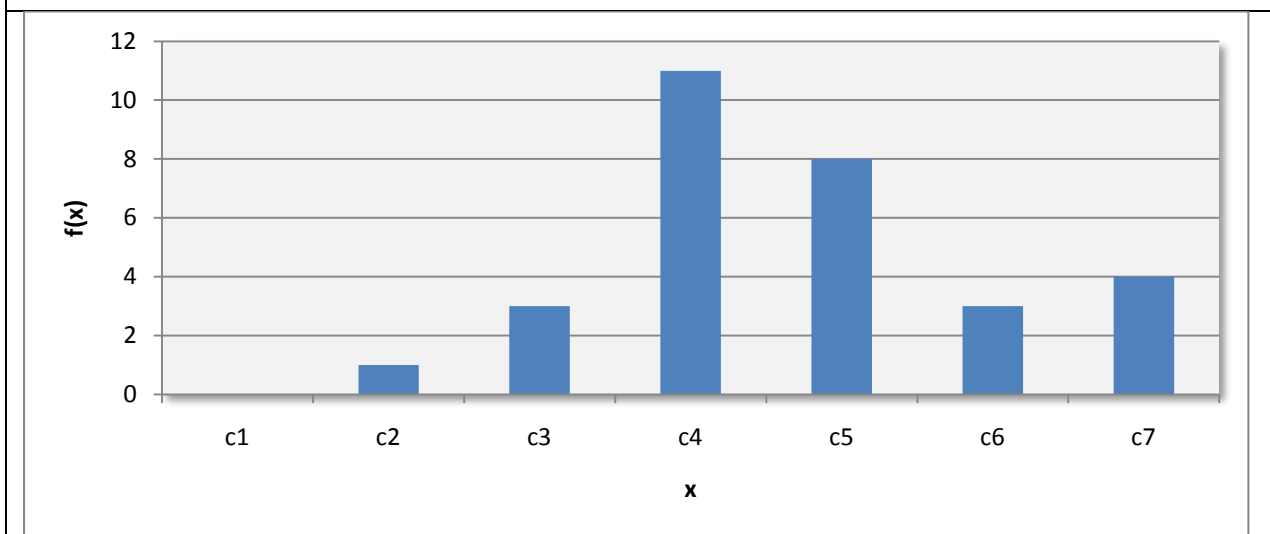
| Classe | Intervalo da classe | Tabulação | Frequência |
|--------|---------------------|-------------------|------------|
| c1 | 36,4 – 39,4 | --- | 0,0 |
| c2 | 39,4 – 42,4 | / | 1,0 |
| c3 | 42,4 – 45,4 | / | 1,0 |
| c4 | 45,4 – 48,4 | / | 1,0 |
| c5 | 48,4 – 51,4 | ### /### /### /// | 18,0 |
| c6 | 51,4 – 54,4 | ### //// | 9,0 |
| c7 | 54,4 – 57,4 | --- | 0,0 |
| C8 | 57,4 – 60,4 | --- | 0,0 |

Tabela 4.9 – Nível sonoro obtido pelas diferentes classes, para a frequência de 125Hz.

| Classe | Intervalo da classe | Tabulação | Frequência |
|--------|---------------------|------------|------------|
| C1 | 43,5 – 44,1 | --- | 0,0 |
| C2 | 44,1 – 44,7 | / | 1,0 |
| C3 | 44,7 – 45,3 | /// | 3,0 |
| C4 | 45,3 – 45,9 | ### /### / | 11,0 |
| C5 | 45,9 – 46,5 | ### /// | 8,0 |
| C6 | 46,5 – 47,1 | /// | 3,0 |
| C7 | 47,1 – 47,7 | //// | 4,0 |



a)



b)

Figura 4.12 Histograma referente às medições efectuadas para a banda de frequência de 100Hz (a) e 125Hz (b).

Observando os parâmetros estatísticos da tabela 4.10, verifica-se uma elevada dispersão em torno dos valores obtidos para a banda de frequência de 100Hz, o que reflecte a existência de outliers, como anteriormente se identificou no teste de Grubbs.

Analisando a forma de distribuição da Figura 4.12a e b, e a tabela 4.10, verifica-se que para banda de 100Hz, o histograma apresenta uma distribuição assimétrica (-2,46), com a

existência de uma cauda lateral à esquerda. Contrariamente, a banda de 125Hz apresenta uma distribuição próxima da distribuição normal (0,31), com uma ligeira cauda à direita.

Tabela 4.10 Parâmetros estatísticos resultantes da análise dos resultados obtidos para a banda de frequência de 100Hz e 125Hz.

| Parâmetros estatísticos | 100Hz | 125Hz |
|--------------------------|-------|-------|
| Média | 47,46 | 45,51 |
| Variância | 4,86 | 0,60 |
| Desvio padrão | 2,20 | 0,77 |
| Assimetria | -2,46 | 0,31 |
| Curtose | 9,37 | 3,02 |
| Coefficiente de variação | 0,05 | 0,02 |
| Número de amostras | 30 | 30 |

Das 15 medições efectuadas por cada técnico, e desprezando as que apresentavam outliers, foram seleccionadas 5 medições recorrendo a estudos de variabilidade representados nas tabelas 4.11 e 4.12, seleccionando no fim do processo as medições 3, 5, 6, 9 e 10 do técnico 1, e as medições 4, 7, 8, 11, e 15 do técnico 2.

Tabela 4.11 Variabilidade mínima obtida pelo técnico 1.

| f (Hz) | Ensaio 3 | Ensaio 5 | Ensaio 6 | Ensaio 9 | Ensaio 10 | s | Variância | Máximo | Mínimo |
|--------------|----------|----------|----------|----------|-----------|-----|-----------|--------|--------|
| 100 | 48,4 | 46,9 | 49,4 | 47,1 | 47,2 | 1,1 | 1,1 | 49,4 | 46,9 |
| 125 | 44,4 | 45,7 | 45,6 | 46,8 | 45,4 | 0,9 | 0,7 | 46,8 | 44,4 |
| 160 | 50,7 | 50,3 | 51,5 | 51,8 | 49,7 | 0,9 | 0,7 | 51,8 | 49,7 |
| 200 | 51,0 | 51,8 | 52,8 | 51,5 | 51,7 | 0,7 | 0,4 | 52,8 | 51,0 |
| 250 | 50,7 | 50,1 | 50,2 | 50,8 | 49,5 | 0,5 | 0,3 | 50,8 | 49,5 |
| 315 | 51,9 | 51,9 | 51,7 | 51,6 | 51,7 | 0,1 | 0,0 | 51,9 | 51,6 |
| 400 | 56,1 | 56,3 | 55,6 | 55,8 | 55,5 | 0,3 | 0,1 | 56,3 | 55,5 |
| 500 | 59,1 | 58,6 | 58,0 | 57,9 | 58,6 | 0,5 | 0,2 | 59,1 | 57,9 |
| 630 | 68,5 | 68,3 | 68,9 | 69,0 | 68,5 | 0,3 | 0,1 | 69,0 | 68,3 |
| 800 | 68,6 | 69,0 | 69,0 | 69,2 | 69,4 | 0,3 | 0,1 | 69,4 | 68,6 |
| 1000 | 70,0 | 70,8 | 70,4 | 70,4 | 70,8 | 0,3 | 0,1 | 70,8 | 70,0 |
| 1250 | 72,2 | 72,9 | 72,0 | 72,3 | 73,2 | 0,5 | 0,3 | 73,2 | 72,0 |
| 1600 | 73,6 | 73,3 | 73,7 | 73,6 | 73,8 | 0,2 | 0,0 | 73,8 | 73,3 |
| 2000 | 72,3 | 73,0 | 72,2 | 72,9 | 73,2 | 0,4 | 0,2 | 73,2 | 72,2 |
| 2500 | 71,0 | 71,6 | 70,6 | 71,0 | 71,1 | 0,4 | 0,1 | 71,6 | 70,6 |
| 3150 | 70,0 | 70,0 | 69,5 | 69,8 | 69,8 | 0,2 | 0,0 | 70,0 | 69,5 |
| Valor global | 63,0 | 63,0 | 63,0 | 64,0 | 63,0 | 0,4 | 0,2 | 64,0 | 63,0 |

Tabela 4.12 - Variabilidade mínima obtida pelo técnico 2.

| f (Hz) | Ensaio 4 | Ensaio 7 | Ensaio 8 | Ensaio 11 | Ensaio 15 | Variância | Máximo | Mínimo |
|--------------|----------|----------|----------|-----------|-----------|-----------|--------|--------|
| 100 | 49,5 | 48,4 | 47,8 | 48,2 | 48,4 | 0,4 | 49,5 | 47,8 |
| 125 | 45,3 | 44,2 | 45,2 | 45,8 | 46,2 | 0,6 | 46,2 | 44,2 |
| 160 | 52,4 | 51,2 | 51,4 | 52,2 | 51,7 | 0,3 | 52,4 | 51,2 |
| 200 | 52,9 | 50,8 | 52,4 | 50,2 | 50,9 | 1,3 | 52,9 | 50,2 |
| 250 | 49,7 | 49,3 | 48,7 | 49,0 | 49,9 | 0,2 | 49,9 | 48,7 |
| 315 | 51,5 | 52,1 | 51,9 | 51,8 | 51,6 | 0,1 | 52,1 | 51,5 |
| 400 | 55,6 | 56,2 | 56,6 | 55,7 | 55,5 | 0,2 | 56,6 | 55,5 |
| 500 | 57,7 | 58,5 | 58,1 | 58,3 | 59,1 | 0,3 | 59,1 | 57,7 |
| 630 | 67,9 | 67,9 | 67,0 | 67,7 | 68,3 | 0,2 | 68,3 | 67,0 |
| 800 | 70,1 | 70,2 | 70,1 | 70,6 | 69,7 | 0,1 | 70,6 | 69,7 |
| 1000 | 71,4 | 71,3 | 71,1 | 71,9 | 70,7 | 0,2 | 71,9 | 70,7 |
| 1250 | 73,1 | 72,7 | 72,3 | 73,4 | 72,9 | 0,2 | 73,4 | 72,3 |
| 1600 | 73,2 | 72,7 | 73,3 | 73,7 | 72,6 | 0,2 | 73,7 | 72,6 |
| 2000 | 72,5 | 72,8 | 72,5 | 72,9 | 71,7 | 0,2 | 72,9 | 71,7 |
| 2500 | 71,3 | 71,5 | 70,5 | 71,4 | 70,5 | 0,2 | 71,5 | 70,5 |
| 3150 | 70,3 | 70,4 | 69,4 | 70,4 | 69,6 | 0,2 | 70,4 | 69,4 |
| Valor global | 63,0 | 63,0 | 63,0 | 63,0 | 63,0 | 0,0 | 63,0 | 63,0 |

Representando graficamente as medições anteriormente seleccionadas no gráfico da Figura 4.13 e 4.14), facilmente se conclui que não existiram grandes dispersões ao longo das 5 medições seleccionadas para cada colaborador.

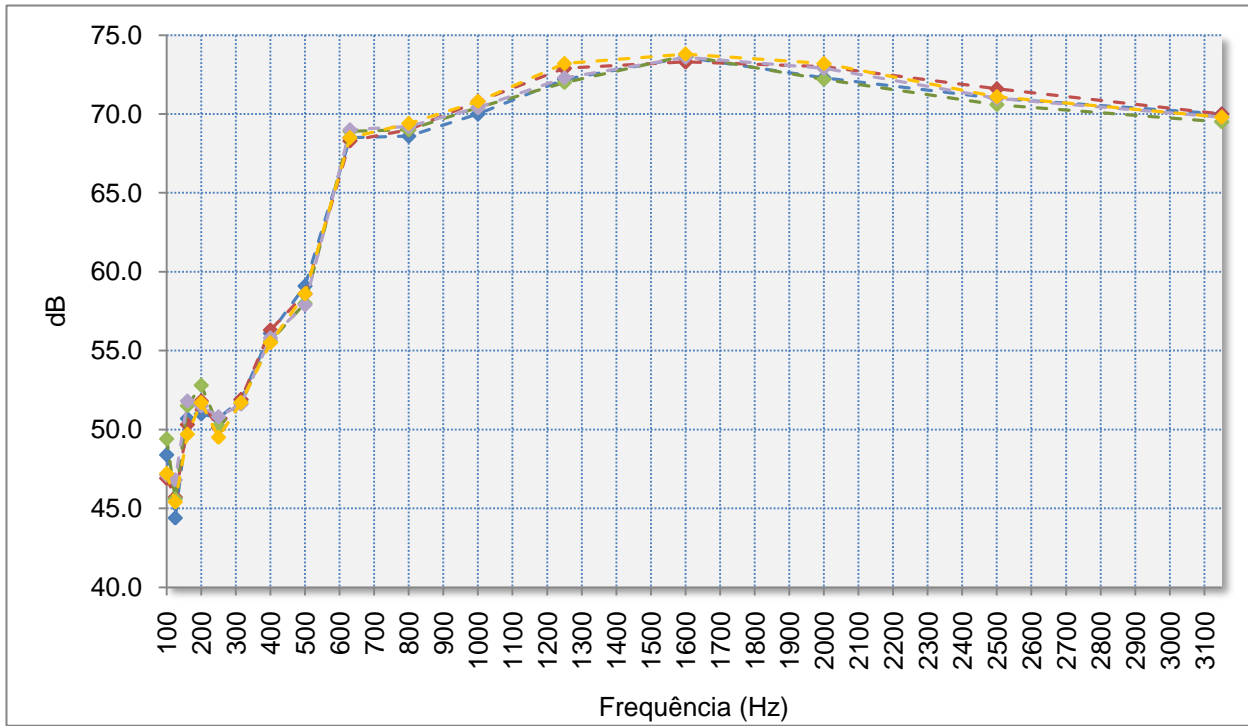


Figura 4.13 Representação das cinco medições seleccionadas do técnico 1: —♦— ensaio 1; —♦— ensaio 2, —♦— ensaio 3, —♦— ensaio 4 e —♦— ensaio 5.

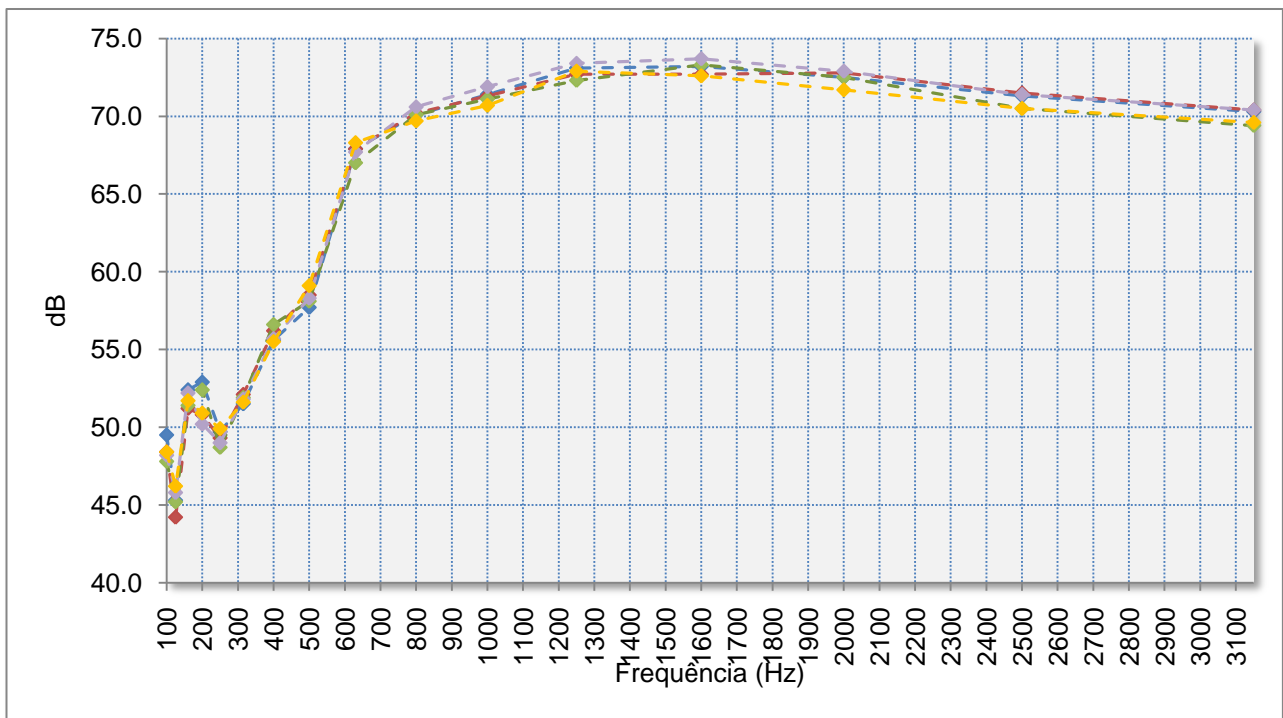


Figura 4.14 Representação das cinco medições seleccionadas do técnico 2: —♦— ensaio 1; —♦— ensaio 2, —♦— ensaio 3, —♦— ensaio 4 e —♦— ensaio 5.

Posteriormente, para cada técnico determinou-se a repetibilidade e precisão intermédia para cada banda de frequência, Estes resultados encontram-se descritos na tabela 4.13 e representados nas Figuras 4.16 e 4.17. Pela análise destes resultados, concluiu-se que em todas as bandas, os valores experimentalmente obtidos são inferiores aos valores teóricos apresentados pela norma NP EN ISO 140-4: 2009 [5].

Tabela 4.13 – Repetibilidade e precisão intermédia

| f (Hz) | Repetibilidade | | Valores teóricos para a repetibilidade | Precisão intermédia | Valores teóricos para a precisão intermédia |
|--------------|----------------|-----|----------------------------------------|---------------------|---------------------------------------------|
| | T1 | T2 | | | |
| 100 | 3,0 | 1,8 | 4,5 | 2,7 | 9,0 |
| 125 | 2,4 | 2,1 | 4,0 | 2,2 | 8,5 |
| 160 | 2,4 | 1,4 | 3,5 | 2,7 | 6,0 |
| 200 | 1,8 | 3,2 | 3,5 | 2,6 | 5,5 |
| 250 | 1,5 | 1,4 | 2,5 | 2,3 | 5,5 |
| 315 | 0,4 | 0,7 | 2,5 | 0,5 | 4,5 |
| 400 | 0,9 | 1,3 | 2,0 | 1,1 | 4,5 |
| 500 | 1,4 | 1,4 | 2,0 | 1,4 | 4,0 |
| 630 | 0,8 | 1,3 | 1,5 | 2,0 | 3,5 |
| 800 | 0,8 | 0,9 | 1,5 | 2,3 | 3,0 |
| 1000 | 0,9 | 1,2 | 1,5 | 1,9 | 2,5 |
| 1250 | 1,4 | 1,2 | 1,5 | 1,4 | 3,0 |
| 1600 | 0,5 | 1,3 | 1,5 | 1,4 | 3,5 |
| 2000 | 1,2 | 1,3 | 1,5 | 1,3 | 3,5 |
| 2500 | 1,0 | 1,4 | 1,5 | 1,2 | 3,5 |
| 3150 | 0,6 | 1,3 | 1,5 | 1,1 | 3,5 |
| Valor global | 1,3 | 0,0 | --- | 0,9 | 0,0 |

Nota: Os valores teóricos para a repetibilidade e precisão intermédia apresentados na tabela 4.13 provêm do referencial normativo NP EN ISO 140-4: 2009 [5].

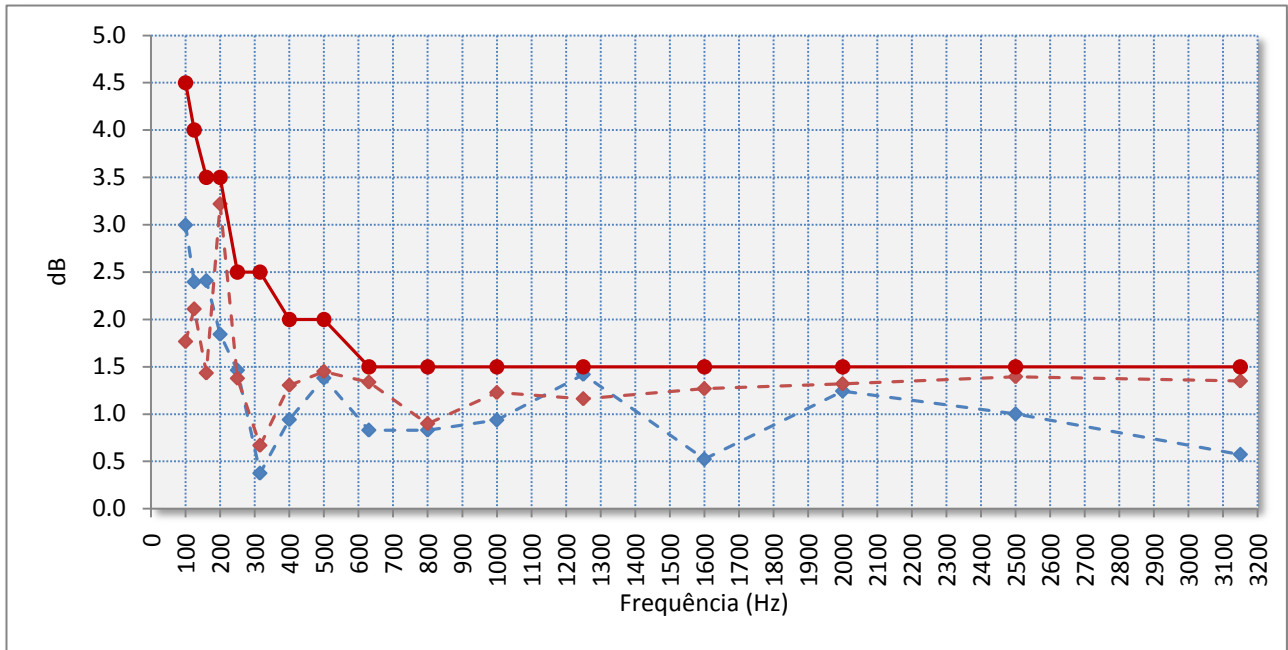


Figura 4.15 - Repetibilidade (r) dos diferentes técnicos: ---♦--- T1, ---♦--- T2 e ---●--- valores de repetibilidade tabelados.

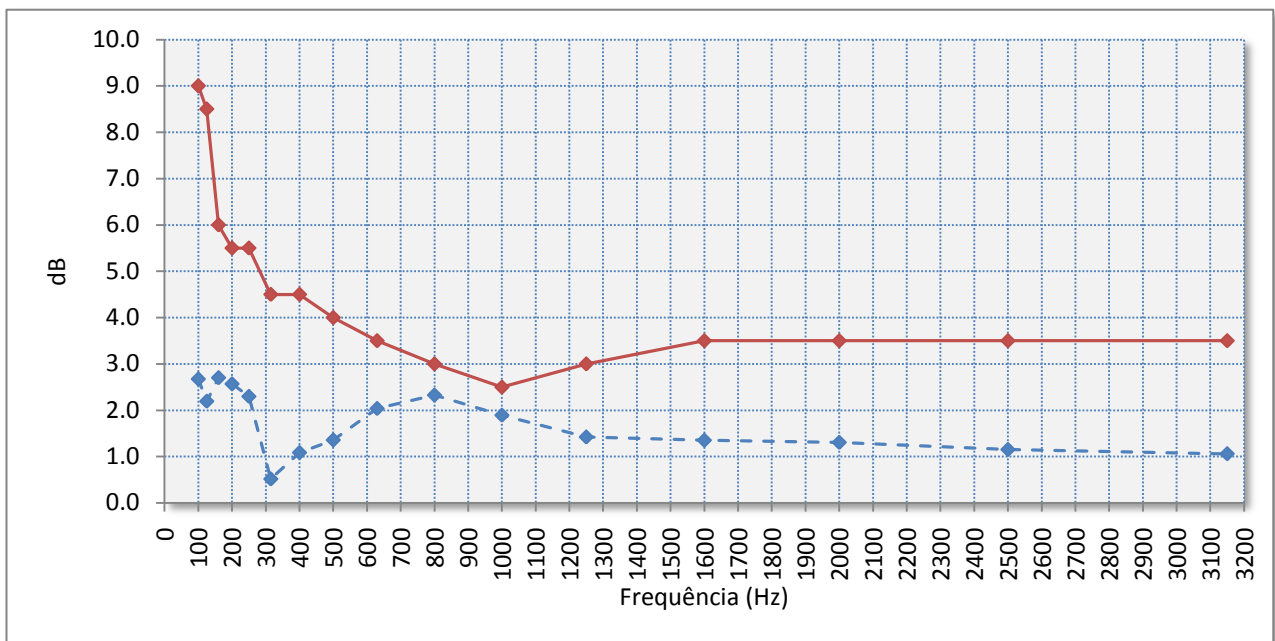


Figura 4.16 - Precisão intermédia: ---♦--- do laboratório e ---♦--- valores de precisão intermédia tabelados.

4.4 Validação de certificados de calibração de equipamentos

De acordo com o requisito 5.5 (*Equipamentos*), do referencial normativo *NP EN ISO 17025:2005*, todos os equipamentos de medição e monitorização (emm) devem estar sujeitos a calibração ou a verificação [28].

Para que o controlo interno seja eficaz é necessário criar impressos, evitando desta forma qualquer tipo de falhas que possam ocorrer. No Anexo A.4, relativo ao Controlo de equipamentos, encontra-se um exemplo de um impresso para esta finalidade. Neste impresso, são facilmente identificados os dados referentes do número interno (n.º de inventário), marca, número de série, data da calibração ou de verificação, entidade que a efectua, data prevista para a próxima calibração/verificação, entre outros dados que possam ser relevantes para o controlo interno.

No caso específico, o laboratório tem de contratar entidades externas para efectuar a calibração e/ou verificação, processo efectuado após uma análise detalhada de entidades acreditadas segundo o referencial anteriormente mencionado. Para este efeito, é necessário analisar cuidadosamente algumas páginas de entidades acreditadoras, como é o caso do IPAC (25) caso se trate de entidades portuguesas, da EA para entidades europeias ou até mesmo de outras entidades internacionais (ILAC e IAF) [30 – 32].

Após a formalização do processo, os equipamentos seguiram para as entidades seleccionadas¹⁰ onde será efectuada a calibração dentro das gamas requeridas. No final, os equipamentos serão enviados para as nossas instalações, acompanhados dos respectivos certificados de calibração/verificação, ou em alguns casos, a nossa entidade responsabiliza-se por adquirir esses certificados nas páginas de cliente dos laboratórios de metrologia contratados.

No entanto, nesta fase ainda há muito a fazer. O laboratório não se limita a receber os equipamentos e respectivos certificados. Nesta fase, há também um esforço acrescido de criar ferramentas estatísticas para controlo do estado dos mesmos, recorrendo-se por exemplo, a cartas de controlo. Estas ferramentas são acessíveis a qualquer elemento do laboratório e são de fácil compreensão e análise.

Para poder avaliar a conformidade dos respectivos certificados, é necessário ter alguns conhecimentos de estatística, assim como de cartas de controlo.

¹⁰ Entidades acreditadas segundo o referencial normativo *NP EN ISO/IEC 17025:2005*, e caso já tenham prestado um serviço anteriormente deverão estar classificadas como fornecedores qualificados atendendo aos critérios de análise previamente estabelecidos.

No Anexo A.5 é possível encontrar um certificado de calibração referente à máquina de percussão, o qual foi analisado recorrendo a cartas de calibração.

Utilizando a carta de controlo criada para esta finalidade conclui-se que surgiram alguns problemas na calibração do equipamento. Por exemplo, de acordo com a tabela 4.14 e com o gráfico representado na Figura 4.16, referente à direcção de queda dos martelos, verifica-se que o valor obtido pelo quinto martelo encontra-se entre o limite superior de controlo e o limite superior de aviso, facto que suscita alguns cuidados, mas que é ainda aceitável. No caso do valor obtido pelo segundo martelo, o mesmo não se verifica, dado que, este se encontra fora das linhas de acção (valor que põe em causa a conformidade do equipamento).

Tabela 4.14 – Resultados apresentados para a direcção de queda

| Martelos | Valor de referência | Valor experimental | U_x | $\text{Erro}+U_x$ | Erro absoluto $E(x)$ | $\text{Erro}-U_x$ | $ \text{Erro}+U_x $ | EMA (%) | Resultado |
|-----------|---------------------|--------------------|-------|-------------------|----------------------|-------------------|---------------------|---------|-----------|
| Martelo 1 | 0,00 | 0,16 | 0,03 | 0,19 | 0,16 | 0,13 | 0,19 | 0,50 | OK |
| Martelo 2 | 0,00 | 0,36 | 0,03 | 0,39 | 0,36 | 0,33 | 0,39 | | OK |
| Martelo 3 | 0,00 | 0,15 | 0,03 | 0,18 | 0,15 | 0,12 | 0,18 | | OK |
| Martelo 4 | 0,00 | 0,11 | 0,03 | 0,14 | 0,11 | 0,08 | 0,14 | | OK |
| Martelo 5 | 0,00 | 0,25 | 0,03 | 0,28 | 0,25 | 0,22 | 0,28 | | OK |

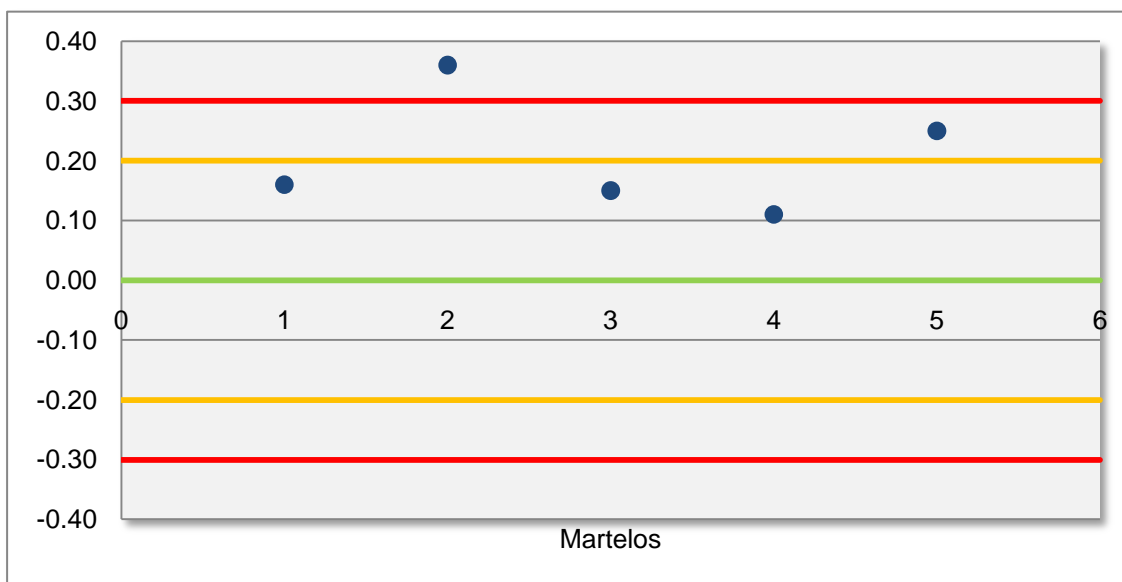


Figura 4.16 Carta de Controlo para análise da direcção de queda dos martelos da máquina de martelos: — linha central, — linha de aviso, — linha de acção, • valor experimental.

Considerando outro exemplo concreto, como é o caso do diâmetro (tabela 4.15 e Figura 4.17), encontramos outro tipo de problemas associados ao equipamento. Neste caso específico, verifica-se que numa sucessão de cinco valores, quatro deles encontram-se compreendidos na zona intermédia, entre as duas linhas de aviso.

Tabela 4.15 Valores obtidos para o diâmetro

| Martelos | Valor de referência | Valor experimental | U_x | Erro+ U_x | Erro absoluto $E(x)$ | Erro- U_x | Erro+ U_x | EMA (mm) | Resultado |
|-----------|---------------------|--------------------|-------|-------------|----------------------|-------------|-------------|----------|-----------|
| Martelo 1 | 30,00 | 29,96 | 0,01 | -0,03 | -0,04 | -0,05 | 0,05 | 0,20 | OK |
| Martelo 2 | 30,00 | 30,00 | 0,01 | 0,01 | 0,00 | -0,01 | 0,01 | | OK |
| Martelo 3 | 30,00 | 30,01 | 0,01 | 0,02 | 0,01 | 0,00 | 0,02 | | OK |
| Martelo 4 | 30,00 | 29,92 | 0,01 | -0,07 | -0,08 | -0,09 | 0,09 | | OK |
| Martelo 5 | 30,00 | 29,89 | 0,01 | -0,10 | -0,11 | -0,12 | 0,12 | | OK |

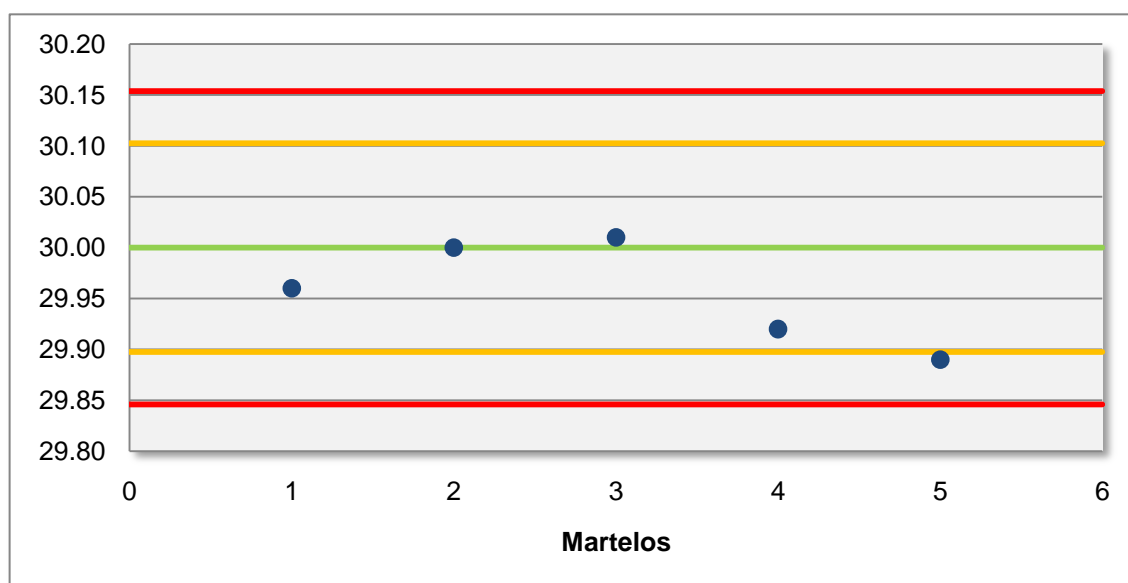


Figura 4.17 – Carta de controlo para análise do diâmetro: — linha central, — linha de aviso; — linha de acção, • valor experimental.

Após compilação da informação anterior, conclui-se que o equipamento apresenta algumas não conformidades para continuar a realizar ensaios de isolamento de sons de percussão. Posto isto, o laboratório tem de adoptar medidas correctivas, passando entre elas por contactar a entidade fornecedora do equipamento, de forma a assegurar a sua reparação.

4.5 Validação de software

Os valores das medições efectuadas *in situ* serão transferidos para o computador do Responsável Técnico (RT), que com o auxílio de software específico [Software de Cálculo de Isolamentos e Relatórios (Insulation Studio)¹¹], procederá à determinação dos resultados associados às diferentes grandezas em estudo, para posterior execução do respectivo relatório.

Apesar dos esforços das empresas mentoras deste tipo de softwares, é impossível garantir que o mesmo funcione correctamente sem a presença de erros.

Posto isto, e de acordo com os requisitos da Norma NP EN ISO/IEC 17025 destinado a entidades acreditadas, é exigido a validação de todo o software utilizado, para tal o Laboratório criou ferramentas estatísticas de forma a testar a conformidade dos resultados obtidos através do software, de acordo com as Normas e legislação em vigor, permitindo desta forma detectar e corrigir precocemente não conformidades [28] [33].

Compilando os resultados experimentalmente obtidos através do software anteriormente mencionado e das folhas de cálculo existentes (tabela 4.16 e figura), e posterior comparação entre eles, parece haver uma excelente concordância de resultados. Contudo é necessário demonstrar, por via estatística, que estes são realmente concordantes.

Do teste t-emparelhado resulta um valor de teste nulo ($TV = 0,00$). Sendo os valores críticos respectivos ($N = 16$) 2,13 e 2,95, para os níveis de confiança de 95 e 99%, respectivamente, indicando que a hipótese nula é válida (existe concordância entre os valores experimentais e os valores teóricos). A mesma conclusão é ainda passível de ser tirada com base no valor de prova de 1,00.

¹¹ Insulation Studio (Marca: CESVA, Modelo: CW-C.I.S., Número de Série: T065533) – Software de cálculo que nos dá todas as informações da medição em termos das diferentes bandas de frequência, o valor global e o valor final, a constar no respectivo relatório da medição, corrigido com a respectiva incerteza de medição, de acordo com a legislação em vigor.

Tabela 4.16 Comparação entre os resultados obtidos através do software de cálculo e as folhas de excel.

| f(Hz) | D _{2m,nT} | | d _i |
|-------|-------------------------|-----------------|----------------|
| | Software (Experimental) | Excel (Teórico) | |
| 100 | 27,0 | 27,0 | 0,00 |
| 125 | 21,6 | 21,6 | 0,00 |
| 160 | 25,4 | 25,4 | 0,00 |
| 200 | 27,2 | 27,2 | 0,00 |
| 250 | 29,3 | 29,3 | 0,00 |
| 315 | 28,4 | 28,4 | 0,00 |
| 400 | 29,7 | 29,7 | 0,00 |
| 500 | 33,8 | 33,8 | 0,00 |
| 630 | 35,4 | 35,4 | 0,00 |
| 800 | 31,7 | 31,7 | 0,00 |
| 1000 | 28,0 | 28,0 | 0,00 |
| 1250 | 29,1 | 29,1 | 0,00 |
| 1600 | 30,0 | 30,0 | 0,00 |
| 2000 | 30,9 | 30,9 | 0,00 |
| 2500 | 34,1 | 34,1 | 0,00 |
| 3150 | 36,5 | 36,5 | 0,00 |

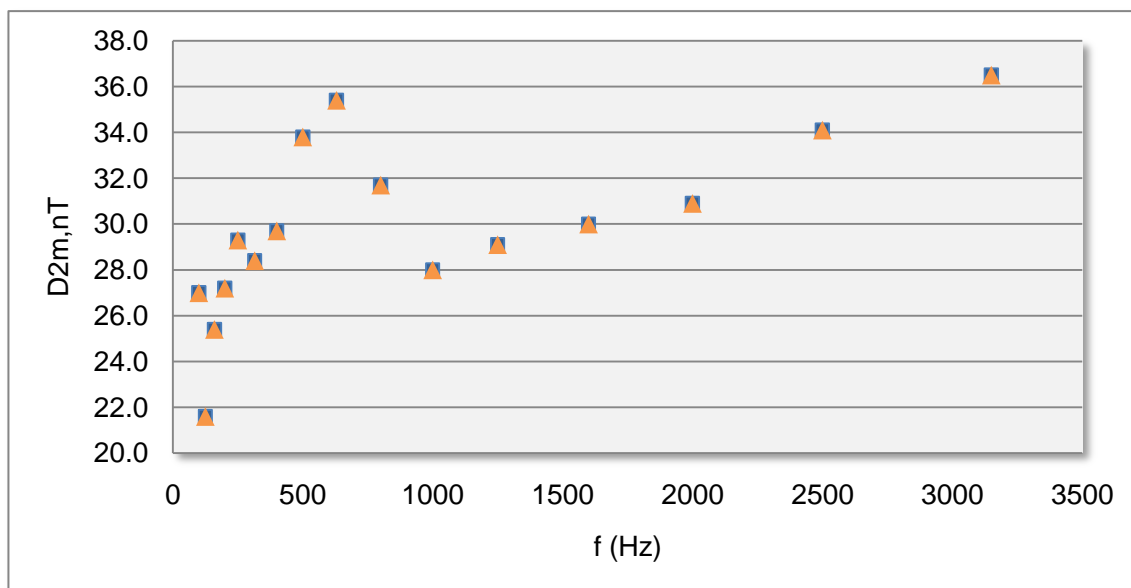


Figura 4.18 Comparação entre os valores obtidos através do ■ software de cálculo e as ▲ folhas de cálculo

Representando graficamente, na Figura 4.19, os valores da folha de cálculo em função dos valores de referência, e consequente obtenção de um valor de correlação igual a 1, confirma-se a teoria anterior, visto que não se verifica qualquer tipo de dispersão em torno da bissetriz do quadrante par.

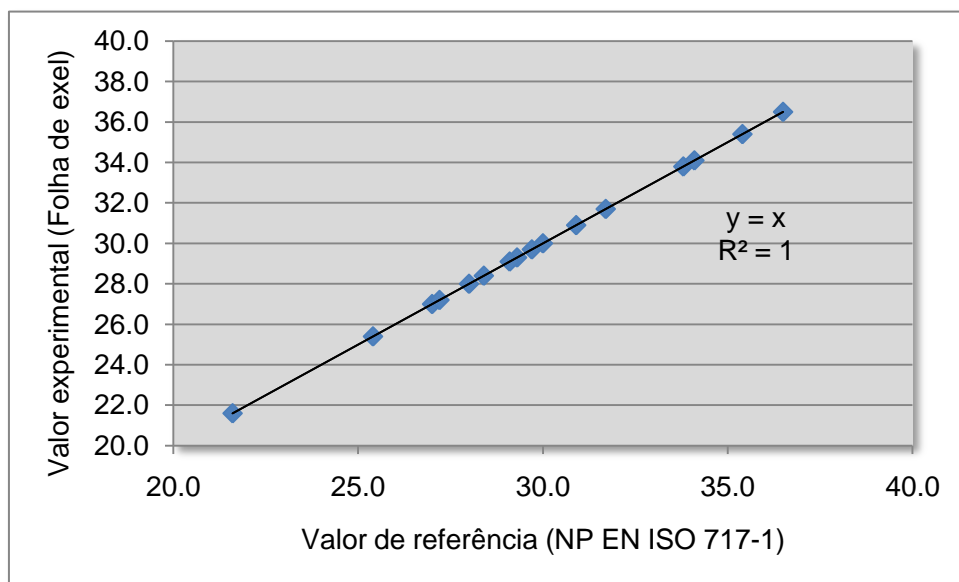


Figura 4.19 Representação gráfica dos valores experimentais em função dos valores de referência

Deste modo, desta etapa resulta a conclusão da análise efectuada ao software, traduzida pela aceitação do software face ao cumprimento dos requisitos pretendidos.

5. CONCLUSÕES

5. Conclusões

Dada a crescente importância da gestão da qualidade no laboratório de acústica, e com o intuito da melhoria contínua do sistema implementado, esta dissertação procurou desenvolver ferramentas internas com base numa pesquisa bibliográfica de práticas neste campo de actuação, mais propriamente nos diferentes referenciais normativos.

Começou-se por definir as diferentes formas existentes para validar os métodos de ensaio efectuados, recorrendo a métodos externos ao laboratório, como é o caso dos ensaios de comparação interlaboratorial e auditorias de medição, ou a métodos internos como os ensaios intralaboratoriais.

Este trabalho permitiu assim gerir os processos existentes, dinamizando-os e reduzindo os custos associados ao trabalho não conforme. Foi essencial acompanhar de perto a realização dos diversos ensaios e perceber como todo o processo decorre, desde a análise dos resultados das calibrações e/ ou verificações, passando pelo acompanhamento dos ensaios em campo, até à emissão do relatório de ensaio.

A posterior análise quantitativa e qualitativa permitiu interpretar os resultados de um ponto de vista mais prático, revelando a aceitação dos procedimentos de ensaio e dos equipamentos utilizados.

No decorrer deste processo foi essencial uma análise crítica, metodológica e formal, para detectar pontos sensíveis, que no futuro poderiam acarretar vários problemas associados a trabalho não conforme, reclamações, e conseqüentemente gastos acrescidos ao laboratório.

De uma forma geral, conclui-se que após a validação do ensaio de ruído ambiente, recorrendo a ensaios de comparação interlaboratorial, o desempenho apresentado por todos os técnicos que executaram o ensaio, reflecte o excelente desempenho do Laboratório em estudo. Por outro lado, os procedimentos de medição e de cálculo de incertezas, são os mais adequados, não se verificando grandes dispersões, relativamente aos valores apresentados pelo laboratório piloto.

Considerando os valores resultantes do estudo e a análise dos resultados obtidos, através da auditoria de medição, para o ensaio de isolamento sonoro a sons de percussão, verificou-se a existência de factores que podem interferir nas medições, destacando-se o pavimento do compartimento em estudo e outras interferências externas. É essencial uma selecção cuidadosa das posições de medição.

Nos ensaios de comparação intralaboratorial, após a realização dos ensaios e posterior tratamento estatístico dos resultados verificou-se a existência de valores aberrantes, que foram automaticamente excluídos dos restantes estudos.

De acordo com os resultados experimentalmente obtidos para a repetibilidade e precisão intermédia, e comparando-se estes resultados com os valores de referência apresentados na norma NP EN ISO 140-4: 2009, conclui-se que o factor técnico não interfere nas medições, pelo que os resultados obtidos pelos elementos que executam os ensaios são semelhantes entre si, não se registando, portanto, diferenças nos procedimentos efectuados.

De uma forma geral, as ferramentas da qualidade desenvolvidas constituíram uma forma eficaz de auxiliar e orientar todas as etapas efectuadas no decorrer do processo. Contudo, a curto prazo não foi possível determinar a eficiência das ferramentas implementadas, uma que se trata de um sistema muito recente.

Algumas sugestões são apresentadas para desenvolvimento futuro, na medida em que ainda existe muito trabalho a fazer com o intuito de melhorar e completar todo o estudo desenvolvido.

Futuramente, pretende-se alargar o Sistema de Gestão da Qualidade à empresa, tendo como base o referencial normativo NP EN ISO/IEC 9001, que coordena todas as entradas e saídas da empresa, funcionando como um todo. Posteriormente, o desejo de todos os envolvidos será a obtenção da certificação da empresa, uma vez que será uma mais-valia num mercado cada vez mais competitivo. Outra das sugestões de estudo, é a implementação e posterior certificação da entidade pela DGERT, como entidade formadora, uma vez que até ao momento existem elementos qualificados para dar formação aos nossos clientes, em Higiene e Segurança no Trabalho, nas mais diversas áreas, desde a construção civil, passando pelo ramo da restauração.

BIBLIOGRAFIA

Bibliografia

- [1]. Decreto – Lei n.º 9/2007, de 17 de Janeiro.
- [2]. NP EN ISO/IEC 17025 (2005) *Requisitos gerais de competência para laboratórios de ensaio e calibração (ISO /IEC 17025:2005)*, IPQ, Lisboa.
- [3]. ISO 13528 (2005) *Statistical methods for use in proficiency testing by laboratory comparison, International Standard Organization, Geneva, Switzerland.*
- [4]. NP EN 20140-2 (2008) *Acústica - Medição do isolamento sonoro de edifícios e de elementos de construção - Parte 2: Determinação, verificação e aplicação de dados de exactidão*, IPQ, Lisboa.
- [5]. NP EN ISO 140-4 (2009) *Acústica - Medição do isolamento sonoro de edifícios e de elementos de construção - Parte 4: Medição in situ do isolamento sonoro a sons aéreos entre compartimentos (ISO 140-4:1998)*, IPQ, Lisboa.
- [6]. A. G. Cunha (2001) *Dic. Etimol. Nova Fronteira*
- [7]. NP EN ISO/IEC 17000 (2005) *Avaliação da conformidade. Vocabulário e princípios gerais (ISO/IEC 17000:2004)*, IPQ, Lisboa.
- [8]. S. S. Moura, S. R. R. Costa (2009) *Produção. Estudo da utilização de materiais de referência nas análises de água por laboratórios envolvidos no sistema de acreditação, vol.*
- [9]. M. Pizzolato, C. S. T. Caten, J. A. H. Jornada (2008) *A influência do sistema de gestão de laboratórios nos resultados dos ensaios de proficiência da construção civil*, *Gest. Prod.*, 15 (3): 579-589
- [10]. DRC005 (2005) *Procedimento para Acreditação de laboratórios, Ed.ª 31 de Maio de 2005, IPAC, Lisboa*
- [11]. Guia ISO n.º 43 (1996) *Proficiency Testing by Interlaboratorial Comparissions*, International Standard Organization, Geneva, Switzerland.
- [12]. Qualidade Online (2004) *Revista da Qualidade*, 2
- [13]. Quality Progress, *Master this quality tools and do you do your job better*

- [14]. J. Owe (2002) *Making quality sense: a guide to quality, tools and techniques, awards and the thinking behind them*, Learning and Skills Development Agency, London
- [15]. E. T. Kishimoto, J. C. T. B. Moraes (2008) *Acções implementadas por um laboratório de equipamentos electromédicos para garantia da qualidade de resultados de ensaio*
- [16]. OGC001 (2010) *Guia para a aplicação da NP EN ISO/IEC 17025*, Ed.^a. 30 de Março de 2010, IPAC, Lisboa
- [17]. Guia Relacre n.º 7 (1996) *Ensaio Interlaboratoriais em Química*, Ed.^a Outubro de 1996, Relacre, Lisboa
- [18]. Guia ISO n.º 43 (1996) *Proficiency Testing by Interlaboratorial Comparissions*, International Standard Organization, Geneva, Switzerland.
- [19]. Qualidade Online (2004) *Revista da Qualidade*, 2
- [20]. M. Pizzolato, C. S. T. Caten, J. A. H. Jornada (2008) *A influência do sistema de gestão de laboratórios nos resultados dos ensaios de proficiência da construção civil*, *Gest. Prod.*, 15 (3): 579-589
- [21]. VIM (2008) *Vocabulário Internacional de Metrologia*, 3.^a Ed., IPQ, Lisboa
- [22]. ISO 5725-6 (1994) *Accuracy trueness and precision) of measurement methods and results – Part 6: Use in practice of accuracy values*, International Standard Organization, Geneva, Switzerland.
- [23]. Q. S. H. Chui, C. B. Barros, T. D. Silva (2009) *Parâmetros r e R obtidos de programa interlaboratorial - Como usá-lo*, *Química Nova*, 32 [8], 2209-2213
- [24]. E. C. Oliveira (2008) *Comparação das diferentes técnicas para a exclusão de "outliers"* ENQUALAB-2008 – Congresso da Qualidade em Metrologia, 09 a 12 de junho de 2008, São Paulo
- [25]. NP EN ISO 717-2 (2009) *Acústica. Determinação do isolamento sonoro em edifícios e de elementos de construção. Parte 2: Isolamento sonoro a sons de percussão*, IPQ, Lisboa
- [26]. NP EN ISO 717-1 (2009) *Acústica. Determinação do isolamento sonoro em edifícios e de elementos de construção. Parte 1: Isolamento sonoro a sons de condução aérea (ISO 717-1:1996 + A1:2006)*, Ed.^a1, IPQ, Lisboa
- [27]. Programa de Execução: 2010 (2010) *Ruído Ambiente - Determinação de Ld*, Relacre, Lisboa

- [28]. NP EN ISO/IEC 17025 (2005) *Requisitos gerais de competência para laboratórios de ensaio e calibração*, 2.ºEd., IPQ, Lisboa
- [29]. NP EN ISO 140-7 (2008) *Acústica. Medição do isolamento sonoro de edifícios e de elementos de construção. Parte 7: Medição, in situ, do isolamento sonoro de pavimentos a sons de percussão* (ISO 140-7:1998), Ed.ª 1, IPQ, Lisboa
- [30]. www.european-accreditation.org [Consultado a 1 de Novembro de 2010]
- [31]. www.ilac.org. [Consultado a 1 de Novembro de 2010]
- [32]. www.iaf.nu. [Consultado a 1 de Novembro de 2010]
- [33]. W. R. Adrion, M. A. Branstad, J. Cherniavsky (1982) *Validation, Verification, and Testing of Computer Software*, Computing Surveys, 14 [2]

APÊNDICE

Apêndice

A.1 Definições

Acção preventiva – acção para eliminar a causa de uma potencial não conformidade ou de outra potencial situação indesejável. (26)

Acção correctiva – Acção para eliminar a causa de uma não-conformidade detectada ou de outra situação indesejável. (26)

Acreditação – de terceira parte, relativa a um organismo de avaliação da conformidade, que constitui um reconhecimento formal da sua competência para a realização de actividades específicas da avaliação da conformidade. (27)

Controlo da qualidade – parte da gestão da qualidade orientada para a satisfação dos requisitos da qualidade. (26)

Correcção – Acção para eliminar uma não conformidade detectada. (26)

Ensaio – Determinação de uma ou mais características de um objecto de avaliação da conformidade, de acordo com um procedimento. (27)

Equipamento de medição – instrumento de medição, padrão de medição, material de referência ou aparelho auxiliar ou uma combinação desses elementos, necessários à realização de um processo de medição. (26)

Melhoria contínua – Actividade recorrente com vista a incrementar a capacidade para satisfazer requisitos. (26)

Não-conformidade – não satisfação de um requisito. (26)

Objectivo da qualidade – algo que procura obter ou atingir relativo à qualidade. (26)

Procedimento – modo especificado de realizar uma actividade ou um processo. (27)

Qualidade – grau de satisfação de requisitos dado por um conjunto de características intrínsecas. (26)

Rastreabilidade – Capacidade de seguir a história, aplicação ou localização do que estiver a ser considerado. (26)

Sistema de gestão da qualidade – sistema de gestão para dirigir e controlar uma organização no que respeita à qualidade. (26)

Validação – confirmação, através de evidência objectiva, de que foram satisfeitos os requisitos para uma utilização ou aplicação pretendidas. (26)

A.2 Ensaios interlaboratoriais de 2010

Tabela A.1 Resultados dos ensaios de comparação interlaboratorial

| Laboratórios participantes | Valores experimentais | | Valores de referência | | Z-score |
|----------------------------|-----------------------|-----------------|-----------------------|-----------------|---------|
| | L_{day} | $\mu_{L_{day}}$ | L_{day} | $\mu_{L_{day}}$ | |
| L1 | 60,7 | 3,6 | 60,2 | 4,5 | 0,7 |
| L2 | 60,5 | 4,5 | 61,3 | 4,5 | -0,5 |
| L3 | 60,0 | 1,3 | 59,3 | 4,5 | 1,1 |
| L4 | 59,7 | 3,5 | 59,5 | 4,5 | 0,2 |
| L5 | 60,3 | 3,7 | 59,6 | 4,5 | 1,0 |
| L6 | 61,1 | 4,6 | 60,2 | 4,5 | 1,2 |
| L7 | 66,4 | 2,2 | 60,1 | 4,5 | 7,7 |
| L8 | 60,9 | 5,2 | 61,1 | 4,5 | -0,2 |
| L9 | 61,0 | 4,9 | 61,5 | 4,5 | -0,3 |
| L10 | 63,0 | 3,3 | 62,7 | 4,5 | 0,3 |
| L11 | 62,0 | 4,0 | 61,1 | 4,5 | 1,3 |
| L12 | 61,3 | 3,7 | 61,7 | 4,5 | -0,5 |
| L13 | 58,5 | 4,5 | 61,1 | 4,5 | -3,2 |
| L14 | 60,7 | 2,2 | 61,8 | 4,5 | -1,2 |
| L15 | 61,5 | 4,5 | 61,6 | 4,5 | -0,1 |
| L16 | 61,0 | 4,5 | 60,7 | 4,5 | 0,3 |

| Laboratórios participantes | Valores experimentais | | Valores de referência | | Z-score |
|----------------------------|-----------------------|-----------------|-----------------------|-----------------|---------|
| | L_{day} | $\mu_{L_{day}}$ | L_{day} | $\mu_{L_{day}}$ | |
| L17 | Desistiu | --- | --- | --- | --- |
| L18 | 60,9 | 2,8 | 61,4 | 4,5 | -0,6 |
| L19 | 60,0 | 4,5 | 60,8 | 4,5 | -1,1 |
| L20 | 60,7 | 4,6 | 62,0 | 4,5 | -0,8 |
| L21 | 62,0 | 4,5 | 61,3 | 4,5 | 1,1 |
| L22 | 59,1 | 1,0 | 59,7 | 4,5 | -0,8 |
| L23 | 59,5 | 1,8 | 59,0 | 4,5 | 0,7 |
| L24 | 57,8 | 4,5 | 58,8 | 4,5 | -0,9 |
| L25 | 60,0 | 4,6 | 59,8 | 4,5 | 0,3 |
| L26 | 61,0 | 4,8 | 60,7 | 4,5 | 0,3 |
| L27 | 59,7 | 0,7 | 60,0 | 4,5 | -0,3 |
| L28 | 60,6 | 3,4 | 60,8 | 4,5 | -0,3 |
| L29 | 60,2 | 2,8 | 60,2 | 4,5 | 0,0 |
| L30 | 59,9 | 3,2 | 60,3 | 4,5 | -0,5 |
| L31 | 60,0 | 2,6 | 60,7 | 4,5 | -0,7 |
| L32 | 60,0 | 4,0 | 59,7 | 4,5 | 0,4 |

Tabela A.1 Resultados dos ensaios de comparação interlaboratorial (continuação)

| Laboratórios participantes | Valores experimentais | | Valores de referência | | Z-score |
|----------------------------|-----------------------|-----------------|-----------------------|-----------------|---------|
| | L_{day} | $\mu_{L_{day}}$ | L_{day} | $\mu_{L_{day}}$ | |
| L33 | 58,7 | 4,5 | 58,8 | 4,5 | -0,1 |
| L34 | 60,0 | 2,8 | 59,7 | 4,5 | 0,4 |
| L35 | 60,5 | 4,7 | 60,1 | 4,5 | 0,6 |
| L36 | 60,0 | 3,6 | 59,0 | 4,5 | 1,5 |
| L37 | 60,6 | * | 58,9 | 4,5 | 2,1 |
| L38 | 60,4 | 2,0 | 60,4 | 4,5 | 0,1 |
| L39 | 60,4 | 3,1 | 60,6 | 4,5 | -0,2 |
| L40 | 59,2 | 0,6 | 60,4 | 4,5 | -1,6 |
| L41 | 61,1 | 4,5 | 61,8 | 4,5 | -0,9 |
| L42 | 60,6 | 1,3 | 61,0 | 4,5 | -0,6 |
| L43 | 61,7 | 4,5 | 61,6 | 4,5 | 0,1 |
| L44 | 61,9 | 4,2 | 61,4 | 4,5 | 0,8 |
| L45 | 60,9 | 4,5 | 61,5 | 4,5 | -0,8 |
| L46 | 61,9 | 0,2 | 60,9 | 4,5 | 1,4 |
| L47 | 59,7 | 3,1 | 60,8 | 4,5 | -1,2 |
| L48 | 67,1 | 4,5 | 63,0 | 4,5 | 2,9 |
| L49 | 63,8 | 4,6 | 62,8 | 4,5 | 1,4 |
| L50 | 61,0 | 4,7 | 61,4 | 4,5 | -0,4 |
| L51 | 60,6 | 2,7 | 61,1 | 4,5 | -0,5 |

| Laboratórios participantes | Valores experimentais | | Valores de referência | | Z-score |
|----------------------------|-----------------------|-----------------|-----------------------|-----------------|---------|
| | L_{day} | $\mu_{L_{day}}$ | L_{day} | $\mu_{L_{day}}$ | |
| L52 | 60,9 | 4,6 | 61,2 | 4,5 | -0,4 |
| L53 | 60,6 | 4,6 | 60,8 | 4,5 | -0,3 |
| L54 | 60,0 | 3,6 | 61,4 | 4,5 | -1,9 |
| L55 | 60,6 | 0,4 | 61,3 | 4,5 | -1,0 |
| L56 | 65,0 | 2,1 | 61,9 | 4,5 | 2,4 |
| L57 | 61,0 | 4,5 | 61,3 | 4,5 | -0,4 |
| L58 | 59,6 | 4,5 | 60,9 | 4,5 | -1,2 |
| L59 | 61,5 | 2,3 | 61,5 | 4,5 | 0,0 |
| L60 | 58,3 | 3,5 | 58,5 | 4,5 | -0,2 |
| L61 | 59,0 | 5,0 | 58,8 | 4,5 | 0,3 |
| L62 | 58,7 | 1,2 | 59,4 | 4,5 | -1,0 |
| L63 | 62,6 | 1,0 | 61,6 | 4,5 | 1,5 |
| L64 | 61,0 | 4,3 | 60,8 | 4,5 | 0,2 |
| L65 | 60,3 | 4,1 | 60,7 | --- | -0,6 |
| L66 | 60,0 | 4,5 | 59,7 | 4,5 | 0,3 |
| L67 | 59,9 | 4,4 | 60,1 | 4,5 | -0,3 |
| L68 | 60,2 | 4,6 | 59,4 | 4,5 | 1,1 |
| L69 | 60,0 | 4,6 | 60,7 | 4,5 | -0,6 |
| L70 | 60,9 | 0,6 | 59,9 | 4,5 | 1,4 |

Tabela A.1 - Resultados dos ensaios de comparação interlaboratorial (continuação)

| Laboratórios participantes | Valores experimentais | | Valores de referência | | Z-score |
|----------------------------|-----------------------|-----------------|-----------------------|-----------------|---------|
| | L_{day} | $\mu_{L_{day}}$ | L_{day} | $\mu_{L_{day}}$ | |
| L71 | 59,1 | 4,5 | 59,3 | 4,5 | -0,3 |
| L72 | 59,2 | 4,5 | 60,3 | 4,5 | -0,8 |
| L73 | 60,1 | 2,4 | 60,5 | 4,5 | -0,5 |
| L74 | 59,1 | 3,7 | 60,2 | 4,5 | -1,5 |
| L75 | 61,1 | 2,4 | 60,9 | 4,5 | 0,1 |
| L76 | 60,9 | 3,3 | 61,2 | 4,5 | -0,4 |
| L77 | 59,0 | 5,9 | 61,7 | 4,5 | -3,8 |
| L78 | 56,9 | 4,5 | 61,3 | 4,5 | -6,3 |
| L79 | 60,6 | 2,0 | 61,4 | 4,5 | -0,8 |
| L80 | 59,5 | 4,5 | 61,5 | 4,5 | -3,0 |
| L81 | 62,2 | 3,1 | 61,8 | 4,5 | 0,6 |
| L82 | 61,7 | 4,4 | 62,1 | 4,5 | -0,5 |
| L83 | 61,1 | 4,6 | 61,0 | 4,5 | 0,2 |
| L84 | 60,0 | 4,6 | 60,7 | 4,5 | -1,0 |
| L85 | 61,2 | 4,6 | 60,4 | 4,5 | 1,2 |
| L86 | 59,0 | 2,8 | 58,5 | 4,5 | 0,6 |
| L87 | 59,5 | 2,8 | 60,1 | 4,5 | -0,8 |
| L88 | 60,0 | 4,5 | 62,5 | 4,5 | -0,9 |
| L89 | 60,0 | 3,6 | 60,2 | 4,5 | -0,2 |

| Laboratórios participantes | Valores experimentais | | Valores de referência | | Z-score |
|----------------------------|-----------------------|-----------------|-----------------------|-----------------|---------|
| | L_{day} | $\mu_{L_{day}}$ | L_{day} | $\mu_{L_{day}}$ | |
| L90 | 59,2 | 4,5 | 59,7 | 4,5 | -0,7 |
| L91 | 60,4 | 4,7 | 60,5 | 4,5 | -0,2 |
| L92 | 60,5 | 4,5 | 60,1 | 4,5 | 0,5 |
| L93 | 60,7 | 4,5 | 59,8 | 4,5 | 1,3 |
| L94 | 61,6 | 4,6 | 61,0 | 4,5 | 0,7 |
| L95 | 61,1 | 2,8 | 62,3 | 4,5 | -0,8 |
| L96 | 61,7 | 1,5 | 61,6 | 4,5 | 0,1 |
| L97 | 60,9 | 4,6 | 61,2 | 4,5 | -0,3 |
| L98 | 62,6 | 2,5 | 64,8 | 4,5 | -0,7 |
| L99 | 62,2 | 4,6 | 61,3 | 4,5 | 1,4 |
| L100 | 59,0 | 4,5 | 59,7 | 4,5 | -1,0 |
| L101 | 61,0 | 2,8 | 60,1 | 4,5 | 1,0 |
| L102 | 61,0 | 4,5 | 60,8 | 4,5 | 0,2 |
| L103 | 61,3 | 4,5 | 61,3 | 4,5 | 0,0 |
| L104 | 63,8 | 2,0 | 62,8 | 4,5 | 1,4 |
| L105 | 61,0 | 2,4 | 61,4 | 4,5 | -0,4 |
| L106 | 60,6 | 2,3 | 61,1 | 4,5 | -0,5 |
| L107 | 60,9 | 4,5 | 61,2 | 4,5 | -0,4 |
| L108 | 60,6 | 3,1 | 60,8 | 4,5 | -0,3 |

Tabela A.1 - Resultados dos ensaios de comparação interlaboratorial (continuação)

| Laboratórios participantes | Valores experimentais | | Valores de referência | | Z-score |
|-------------------------------|-----------------------|-----------------|--------------------------|-----------------|---------|
| | L_{day} | $\mu_{L_{day}}$ | L_{day} | $\mu_{L_{day}}$ | |
| L109 | 60,0 | 2,0 | 61,4 | 4,5 | -1,9 |
| L110 | 60,6 | 3,7 | 61,3 | 4,5 | -1,0 |
| L111 | 65,0 | 4,5 | 61,9 | 4,5 | 2,4 |
| L112 | 61,0 | 2,7 | 61,3 | 4,5 | -0,4 |
| L113 | 59,6 | 3,6 | 60,9 | 4,5 | -1,2 |
| L114 | 60,1 | 1,9 | 59,4 | 4,5 | 1,1 |
| L115 | 58,8 | 3,6 | 59,5 | 4,5 | -0,1 |
| L116 | 59,6 | 2,8 | 59,5 | 4,5 | 0,2 |
| L117 | 59,5 | 4,5 | 60,3 | 4,5 | -0,9 |
| L118 | 61,0 | 1,1 | 60,9 | 4,5 | -1,2 |

A.3 Cálculo das Incertezas de medição

Tabela A.2 – Medição de L2

| f (Hz) N.º | 100 | 125 | 160 | 200 | 250 | 315 | 400 | 500 | 630 | 800 | 1000 | 1250 | 1600 | 2000 | 2500 | 3150 |
|---------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| 1 | 46,1 | 49,2 | 56,0 | 53,7 | 56,2 | 57,0 | 61,0 | 64,8 | 60,6 | 62,5 | 61,6 | 64,3 | 66,4 | 66,8 | 65,1 | 61,4 |
| 2 | 47,3 | 56,3 | 55,5 | 56,2 | 56,2 | 58,0 | 60,3 | 63,8 | 60,4 | 61,9 | 61,7 | 62,7 | 65,1 | 65,2 | 63,9 | 59,7 |
| 3 | 50,1 | 55,3 | 55,5 | 52,7 | 55,3 | 55,1 | 57,6 | 58,7 | 57,4 | 59,1 | 60,9 | 59,4 | 58,8 | 60,1 | 58,7 | 54,0 |
| 4 | 48,6 | 54,3 | 54,0 | 50,0 | 56,2 | 57,1 | 59,1 | 58,5 | 58,3 | 60,5 | 60,6 | 60,0 | 59,2 | 59,1 | 58,3 | 54,0 |
| 5 | 50,0 | 50,6 | 49,7 | 51,9 | 53,9 | 57,7 | 58,9 | 57,1 | 60,2 | 61,8 | 61,6 | 62,5 | 61,5 | 59,1 | 55,1 | 48,9 |
| 6 | 45,1 | 51,3 | 52,7 | 49,6 | 55,9 | 58,4 | 56,8 | 58,2 | 55,3 | 55,0 | 52,4 | 52,4 | 52,2 | 52,7 | 51,8 | 46,1 |

Tabela A.3 – Medição do ruído de fundo (Lb)

| f (Hz) N.º | 100 | 125 | 160 | 200 | 250 | 315 | 400 | 500 | 630 | 800 | 1000 | 1250 | 1600 | 2000 | 2500 | 3150 |
|---------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| 1 | 33,1 | 32,2 | 27,1 | 27,8 | 26,0 | 25,8 | 23,8 | 22,5 | 21,8 | 24,0 | 27,3 | 29,0 | 27,6 | 23,0 | 18,0 | 15,9 |

Tabela A.4 – Medição do tempo de reverberação (T)

| f (Hz) N.º | 100 | 125 | 160 | 200 | 250 | 315 | 400 | 500 | 630 | 800 | 1000 | 1250 | 1600 | 2000 | 2500 | 3150 |
|---------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| 1 | 0,64 | 0,52 | 0,80 | 0,48 | 0,60 | 0,96 | 1,23 | 1,04 | 1,05 | 1,03 | 1,17 | 1,30 | 1,33 | 1,18 | 1,11 | 0,95 |
| 2 | 0,88 | 0,86 | 0,29 | 0,51 | 0,83 | 0,71 | 0,32 | 0,64 | 0,79 | 1,01 | 1,24 | 1,15 | 1,13 | 1,18 | 1,13 | 0,95 |
| 3 | 0,44 | 0,95 | 0,94 | 1,03 | 0,79 | 0,41 | 0,45 | 0,59 | 0,86 | 0,83 | 1,17 | 0,81 | 1,18 | 1,07 | 0,95 | 0,93 |
| 4 | 0,65 | 1,45 | 1,09 | 0,74 | 0,81 | 0,46 | 0,68 | 0,91 | 0,79 | 0,56 | 0,90 | 0,80 | 1,00 | 0,94 | 0,87 | 0,83 |
| 5 | 1,30 | 0,38 | 0,80 | 0,35 | 0,52 | 0,83 | 0,71 | 0,84 | 0,73 | 0,67 | 1,03 | 0,92 | 1,25 | 1,13 | 1,05 | 0,94 |
| 6 | 1,27 | 1,00 | 1,19 | 0,64 | 0,66 | 1,26 | 0,71 | 0,67 | 0,49 | 0,94 | 1,03 | 1,08 | 1,12 | 1,17 | 1,06 | 0,98 |
| 7 | 0,94 | 0,78 | 0,46 | 1,05 | 0,82 | 1,28 | 0,78 | 0,54 | 0,68 | 0,92 | 0,77 | 1,11 | 1,21 | 1,09 | 0,94 | 0,92 |
| 8 | 0,76 | 0,64 | 0,47 | 0,54 | 0,86 | 2,08 | 0,79 | 0,78 | 0,61 | 0,85 | 0,89 | 1,15 | 1,06 | 0,94 | 0,91 | 0,86 |
| 9 | 0,64 | 0,67 | 0,62 | 0,34 | 1,01 | 1,12 | 0,52 | 0,56 | 0,58 | 1,03 | 1,06 | 1,19 | 1,21 | 1,07 | 1,13 | 0,96 |
| 10 | 0,72 | 0,37 | 0,94 | 0,49 | 0,89 | 0,50 | 0,89 | 0,54 | 0,79 | 0,95 | 0,88 | 1,24 | 1,31 | 1,03 | 1,06 | 0,93 |
| 11 | 0,37 | 0,77 | 1,27 | 0,76 | 0,83 | 0,93 | 0,24 | 0,47 | 0,52 | 1,00 | 1,11 | 1,09 | 1,10 | 1,02 | 1,06 | 1,00 |
| 12 | 0,60 | 0,19 | 1,03 | 0,64 | 0,69 | 0,37 | 0,62 | 1,27 | 0,28 | 1,00 | 1,10 | 1,20 | 1,20 | 1,18 | 1,16 | 1,07 |

Tabela A.5 – Contribuição das diferentes incertezas

| f (Hz) Contribuição | 100 | 125 | 160 | 200 | 250 | 315 | 400 | 500 | 630 | 800 | 1000 | 1250 | 1600 | 2000 | 2500 | 3150 |
|------------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| $u(L_2)$ | 0,84 | 1,17 | 0,98 | 1,00 | 0,37 | 0,48 | 0,65 | 1,33 | 0,86 | 1,14 | 1,49 | 1,73 | 2,09 | 2,06 | 2,07 | 2,42 |
| $u(T_{20})$ | 0,12 | 0,11 | 0,09 | 0,09 | 0,08 | 0,06 | 0,06 | 0,05 | 0,05 | 0,04 | 0,03 | 0,03 | 0,02 | 0,02 | 0,02 | 0,02 |
| $u(\text{Equip.})$ | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 |
| $u(\text{Arred.})$ | 0,03 | 0,03 | 0,03 | 0,03 | 0,03 | 0,03 | 0,03 | 0,03 | 0,03 | 0,03 | 0,03 | 0,03 | 0,03 | 0,03 | 0,03 | 0,03 |
| c_1 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 |
| c_2 | 5,65 | 6,07 | 5,26 | 6,88 | 5,59 | 4,77 | 6,56 | 5,88 | 6,37 | 4,83 | 4,22 | 3,99 | 3,69 | 4,01 | 4,19 | 4,60 |
| $u_c(L_{nT})$ | 1,47 | 1,68 | 1,48 | 1,55 | 1,15 | 1,15 | 1,26 | 1,69 | 1,36 | 1,53 | 1,80 | 2,00 | 2,31 | 2,29 | 2,30 | 2,62 |
| $U(L_{nT})$ | 2,9 | 3,4 | 3,0 | 3,1 | 2,3 | 2,3 | 2,5 | 3,4 | 2,7 | 3,1 | 3,6 | 4,0 | 4,6 | 4,6 | 4,6 | 5,2 |

A.5 Certificado de calibração da máquina de percussão



Assinatura válida

Digitally signed by
LabMetro Online
Date: 2010.07.06
14:08:48 +0200
Reason: Documento
aprovado
electronicamente


Laboratório de Ensaios de
Controlo Dimensional



Relatório de Ensaio

Data 05.07.2010

Relatório n.º EDIM535/10

Página 1 de 6

Equipamento **Máquina de Percussão**
Marca: Cesva
Modelo: MI005 Tapping Machine
Indicação: ---

N.º ident.: 005
N.º série: T227682

Ciente

Data de
Calibração **05.07.2010**

Condições Ambientais Temperatura: 20,6 °C Humidade relativa: 53,0 %

Procedimento PO.M-DM/ECD-02

Rastreabilidade Máquina 3D Zeiss, rastreado à Zeiss, Alemanha.
Balança comparador, rastreado ao PTB, Alemanha.
Osciloscópio, Hewlett Packard 58503A, rastreado ao Instituto Português da Qualidade (IPQ), Portugal.

Resultados Encontram-se apresentados na(s) folha(s) em anexo.
A incerteza expandida apresentada, está expressa pela incerteza-padrão multiplicada pelo factor de expansão $k=2$, o qual para uma distribuição normal corresponde a uma probabilidade de, aproximadamente, 95%. A incerteza foi calculada de acordo com o documento EA-4/02.

Nota: O equipamento cumpre com os requisitos especificados no anexo A da norma ISO 140-6.

Ensaiado por

Diogo Tavares

Responsável pela Validação

Sara Leonardo (Responsável Técnico)

DM/064-2/07

instituto de soldadura
e qualidade

Lisboa: Av. Prof. Cavaco Silva, 33 • Taguspark • 2740-120 Oeiras • Portugal
Tels.: +351 21 422 90 34/81 85/90 20 • Fax: +351 21 422 81 02

labmetro@isq.pt

http://metrologia.isq.pt

Porto: Rua do Mirante, 258 • 4415-491 Grijó • Portugal
Tels.: +351 22 747 19 10/50 • Fax: +351 22 747 19 19/745 57 78

O IPAC é signatário do Acordo de Reconhecimento Mútuo da EA e do ILAC para ensaios, calibrações e inspeções. IPAC is a signatory to the EA, MLA and ILAC MRA for testing, calibration and inspection. Este documento só pode ser reproduzido na íntegra, excepto quando autorização por escrito do ISQ. This document may not be reproduced other than in full, except with the prior written approval of the issuing laboratory.



Continuação de Relatório

Relatório n.º EDIM535/10

Página 2 de 6


Massa

| Grandeza | Valor nominal | Valor medido | Erro | Tolerância | Incerteza |
|-----------|---------------|--------------|--------|------------|-----------|
| Martelo 1 | 500 g | 500,7 g | 0,7 g | ± 12 g | ± 1,2 g |
| Martelo 2 | 500 g | 498,9 g | -1,1 g | ± 12 g | ± 1,2 g |
| Martelo 3 | 500 g | 501,1 g | 1,1 g | ± 12 g | ± 1,2 g |
| Martelo 4 | 500 g | 500,9 g | 0,9 g | ± 12 g | ± 1,2 g |
| Martelo 5 | 500 g | 500,1 g | 0,1 g | ± 12 g | ± 1,2 g |

Direcção da queda

| Grandeza | Valor nominal | Valor medido | Erro | Tolerância | Incerteza |
|-----------|---------------|--------------|--------|------------|-----------|
| Martelo 1 | 0 ° | 0,16 ° | 0,16 ° | ± 0,50 ° | ± 0,03 ° |
| Martelo 2 | 0 ° | 0,36 ° | 0,36 ° | ± 0,50 ° | ± 0,03 ° |
| Martelo 3 | 0 ° | 0,15 ° | 0,15 ° | ± 0,50 ° | ± 0,03 ° |
| Martelo 4 | 0 ° | 0,11 ° | 0,11 ° | ± 0,50 ° | ± 0,03 ° |
| Martelo 5 | 0 ° | 0,25 ° | 0,25 ° | ± 0,50 ° | ± 0,03 ° |

Ensaiado por


Diogo Tavares

Responsável pela Validação


Sara Leonardo (Responsável Técnico)

DM/064.2/07



Continuação de Relatório

Relatório n.º EDIM535/10

Página 3 de 6

Diâmetro

| Grandeza | Valor nominal | Valor medido | Erro | Tolerância | Incerteza |
|-----------|---------------|--------------|----------|------------|-----------|
| Martelo 1 | 30 mm | 29,96 mm | -0,04 mm | ± 0,20 mm | ± 0,01 mm |
| Martelo 2 | 30 mm | 30,00 mm | 0,00 mm | ± 0,20 mm | ± 0,01 mm |
| Martelo 3 | 30 mm | 30,01 mm | 0,01 mm | ± 0,20 mm | ± 0,01 mm |
| Martelo 4 | 30 mm | 29,92 mm | -0,08 mm | ± 0,20 mm | ± 0,01 mm |
| Martelo 5 | 30 mm | 29,89 mm | -0,11 mm | ± 0,20 mm | ± 0,01 mm |

Curvatura da superfície de impacto

| Grandeza | Valor nominal | Valor medido | Erro | Tolerância | Incerteza |
|-----------|---------------|--------------|---------|------------|-----------|
| Martelo 1 | 500 mm | 504,8 mm | 4,8 mm | ± 100 mm | ± 1 mm |
| Martelo 2 | 500 mm | 548,1 mm | 48,1 mm | ± 100 mm | ± 1 mm |
| Martelo 3 | 500 mm | 515,5 mm | 15,5 mm | ± 100 mm | ± 1 mm |
| Martelo 4 | 500 mm | 535,9 mm | 35,9 mm | ± 100 mm | ± 1 mm |
| Martelo 5 | 500 mm | 529,4 mm | 29,4 mm | ± 100 mm | ± 1 mm |

Ensaiado por

Diogo Tavares

Responsável pela Validação

Sara Leonardo (Responsável Técnico)

DM/064-2/07



Continuação de Relatório

Relatório nº. EDIM535/10

Página 4 de 6

Intervalo de tempo entre impactos

| Grandeza | Valor nominal | Valor medido | Erro | Tolerância | Incerteza |
|-----------|---------------|--------------|---------|------------|-----------|
| Martelo 1 | 100 ms | 99,9 ms | -0,1 ms | ± 20 ms | ± 1 ms |
| Martelo 2 | 100 ms | 101,5 ms | 1,5 ms | ± 20 ms | ± 1 ms |
| Martelo 3 | 100 ms | 99,8 ms | -0,2 ms | ± 20 ms | ± 1 ms |
| Martelo 4 | 100 ms | 102,4 ms | 2,4 ms | ± 20 ms | ± 1 ms |
| Martelo 5 | 100 ms | 101,7 ms | 1,7 ms | ± 20 ms | ± 1 ms |

Velocidade no momento de impacto

| Grandeza | Valor nominal | Valor medido | Erro | Tolerância | Incerteza |
|-----------|---------------|--------------|------------|------------|-----------|
| Martelo 1 | 886 mm/s | 874,8 mm/s | -11,2 mm/s | ± 22 mm/s | ± 6 mm/s |
| Martelo 2 | 886 mm/s | 873,4 mm/s | -12,6 mm/s | ± 22 mm/s | ± 6 mm/s |
| Martelo 3 | 886 mm/s | 878,4 mm/s | -7,6 mm/s | ± 22 mm/s | ± 6 mm/s |
| Martelo 4 | 886 mm/s | 878,6 mm/s | -7,4 mm/s | ± 22 mm/s | ± 6 mm/s |
| Martelo 5 | 886 mm/s | 883,7 mm/s | -2,3 mm/s | ± 22 mm/s | ± 6 mm/s |

Ensaiado por



Diogo Tavares

Responsável pela Validação



Sara Leonardo (Responsável Técnico)

DM/064-2/07



Continuação de Relatório

Relatório nº. EDIM535/10

Página 5 de 6

Distância entre o centro dos cilindros

| Cilindros | Valor medido | Incerteza |
|-----------|--------------|-----------|
| 1 - 2 | 99,96 mm | ± 0,01 mm |
| 2 - 3 | 100,10 mm | ± 0,01 mm |
| 3 - 4 | 100,34 mm | ± 0,01 mm |
| 4 - 5 | 100,16 mm | ± 0,01 mm |

Tempo médio entre impactos

| Valor nominal | Valor calculado | Erro | Tolerância | Incerteza |
|---------------|-----------------|--------|------------|-----------|
| 100 ms | 101,1 ms | 1,1 ms | ± 5 ms | ± 1 ms |

Ensaiado por

Diogo Tavares

Responsável pela Validação

Sara Leonardo (Responsável Técnico)

DM/064-2/07



Continuação de Relatório

Relatório n.º EDIM535/10

Página 6 de 6

Resumo dos ensaios

| Teste | Resultado |
|----------------------------------------|-----------|
| Massa | OK |
| Direcção da queda | OK |
| Diâmetro | OK |
| Curvatura da superfície de impacto | OK |
| Intervalo de tempo entre impactos | OK |
| Velocidade no momento de impacto | OK |
| Distância entre o centro dos cilindros | OK |
| Tempo médio entre impactos | OK |

Ensaiado por

Diogo Tavares

Responsável pela Validação

Sara Leonardo (Responsável Técnico)

DM/064-2/07

