



Rui Coelho
Avaliação do Desempenho Acústico e na
Presença do Fogo de BTC

UMinho 2019



Universidade do Minho
Escola de Engenharia

Rui Eduardo Fernandes Coelho

**Avaliação do Desempenho Acústico e na
Presença do Fogo de BTC**

dezembro de 2019



Universidade do Minho
Escola de Engenharia

Rui Eduardo Fernandes Coelho

**AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO ACÚSTICO E NA PRESENÇA
DO FOGO DE BTC**

Dissertação de Mestrado

Mestrado Integrado em Engenharia Civil

Trabalho efetuado sob a orientação de:

Professor Doutor Dinis Miguel Campos Leitão

Professora Doutora Ana Cristina Briga de Sá

Sala Atos - 5 de dezembro 2019

DIREITOS DE AUTOR E DECLARAÇÃO DE UTILIZAÇÃO DO TRABALHO POR TERCEIROS

Este é um trabalho académico que pode ser utilizado por terceiros desde que respeitadas as regras e boas práticas internacionalmente aceites, no que concerne aos direitos de autor e direitos conexos.

Assim, o presente trabalho pode ser utilizado nos termos previstos na licença abaixo indicada. Caso o utilizador necessite de permissão para fazer um uso do trabalho em condições não previstas no licenciamento indicado, deverá contactar o autor, através do repositório da Universidade do Minho.

Licença. [HTTPS://CREATIVECOMMONS.ORG/LICENSES/BY-SA/4.0/](https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/)

À Família e aos amigos, que sempre me apoiaram e participaram na viagem que começou em Aveiro (2010) e termina hoje aqui, em Guimarães, na Universidade do Minho

DECLARAÇÃO DE INTEGRIDADE

Declaro ter atuado com integridade na elaboração do presente trabalho académico e confirmo que não recorri à prática de plágio, nem a qualquer forma de utilização indevida ou falsificação de informações ou resultados em nenhuma das etapas conducente à sua elaboração.

Mais declaro que conheço e que respeitei o Código de Conduta Ética da Universidade do Minho.

RESUMO

TÍTULO: AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO ACÚSTICO E NA PRESENÇA DO FOGO DE BTC

O trabalho de dissertação que se apresenta assenta na construção em terra.

Numa fase inicial, a investigação sobre a construção em terra, apresenta características de se estar a ensaiar processos e técnicas fundamentais para o crescimento da sustentabilidade no setor da construção. As vantagens do recurso à terra para construção são inúmeras, nomeadamente a acessibilidade, pois é um produto natural e existente no solo e também por ser um processo de construção com impacto na diminuição da pegada ecológica. Sendo assim, esta construção tem vindo a conquistar progressivamente o mercado da construção civil, em diversos países, sendo que há maior procura dos processos de construção com este material e na industrialização da produção, em países mais desenvolvidos.

Há várias técnicas na construção em terra e a escolhida para este trabalho foi o bloco de terra compactada (BTC). É uma técnica que se apresenta com perspetiva de aceitação pelas sociedades atuais e também porque parece permitir a padronização dos blocos, um maior controlo de qualidade no seu processo de produção com uma boa capacidade de resistência. Há igualmente muitas incertezas funcionais e normativas que impõe barreias à aceitação desta técnica. Assim, este estudo apresenta ensaios experimentais de caracterização acústica e de caracterização do comportamento dos BTC ao fogo, numa tentativa de poder aferir a funcionalidade dos blocos de terra comprimida (BTC), na sua componente acústica e de resistência ao fogo.

Releva-se igualmente com este estudo, a importância de aumentar o conhecimento da técnica construtiva – BTC proposta a estudo, por se apresentar como um dos possíveis mecanismos da bioconstrução, de forma a ser atingida a resiliência ambiental.

Palavras-chave: Bloco de Terra Compactada, Construção Sustentável, Ensaio de Resistência ao Fogo, Isolamento Térmico.

ABSTRACT

TITLE: ACOUSTIC PERFORMANCE ASSESSMENT AND FIRE TESTS OF CEB

This work is based on a growing motivation for building with earth.

The curiosity for the investigation of the construction with earth is assumed by the possibility of testing processes and techniques which are fundamental for the growth of sustainability in the construction sector. The benefits resulting from the use of earth material in construction are innumerable in terms of its capability and availability as well as its impact on the ecological footprint. Thus, this method has been progressively conquering the civil construction market in several countries, namely in the so called developed ones where there has been a greater demand for construction processes with this material and in the production industrialization.

There are several techniques in earth construction and the one chosen for this paper was the compressed earth block (CEB). It is a technique that presents itself with prospect of acceptance by current societies and it seems to allow the standardization of the blocks, a greater quality control in their production process, with a good strength capability. However, there are also many functional and normative uncertainties that impose barriers to the acceptance of this technique. This study is based on experimental tests on acoustic characterization and on the CEBs reaction to fire.

It is also intended with this study, to increase the knowledge on the referred building technique - CEB, as it presents itself as one of the possible mechanisms of bioconstruction, so that environmental resilience can be achieved.

Key words: Compressed earth block (CEB), Sustainable Construction, Fire Resistance Test, Thermal Insulation

ÍNDICE

1. INTRODUÇÃO.....	1
1.1. Enquadramento.....	1
1.2. Objetivos.....	2
1.3. Estrutura da dissertação.....	2
1.4. Metodologia para o desenvolvimento do trabalho.....	3
2. REVISÃO DO ESTADO DE ARTE.....	5
2.1. Introdução.....	5
2.2. Construção em Terra.....	7
2.2.1. Técnicas construtivas.....	10
2.2.2. Vantagens e desvantagens.....	14
2.3. A construção em BTC.....	15
2.3.1. Produção de BTC e Características físicas dos BTC.....	15
2.3.2. Vantagens e desvantagens.....	17
3. CARACTERIZAÇÃO E FABRICO DOS BTC UTILIZADOS.....	19
3.1. Introdução.....	19
3.2. Descrição dos materiais utilizados.....	20
3.3. Processo Produção.....	23
3.3.1. Preparação.....	23
3.3.2. Prensagem dos BTC.....	24
3.3.3. Cura.....	24
3.4 Considerações Finais.....	24
4. ENSAIO DE CARACTERIZAÇÃO DO COMPORTAMENTO DOS BTC AO FOGO.....	25
4.1. Procedimento e Norma de Ensaio.....	25
4.2. Resultados obtidos.....	26
4.3. Análise de resultados.....	27
5. ENSAIO DE CARACTERIZAÇÃO ACÚSTICA DOS BTC.....	29

5.1. Procedimento e Normas de Ensaio	29
5.1.1. Sala sem parede	29
5.1.1.1. Normas aplicadas.....	29
5.1.1.2. Objetivos	29
5.1.1.3. Caracterização da sala.....	30
5.1.1.4. Equipamentos utilizados	31
5.1.1.5. Metodologia.....	31
5.1.1.6. Registo fotográfico	32
5.1.2. Sala com parede	33
5.1.2.1. Normas aplicadas.....	33
5.1.2.3. Caracterização da sala com parede divisória	34
5.1.2.4. Equipamentos utilizados	35
5.1.2.5. Metodologia.....	35
5.1.2.6. Registo Fotográfico	37
5.2. Resultados Obtidos.....	39
5.3. Análise de Resultados.....	60
6.CONCLUSÃO	61
6.1. Trabalho desenvolvido.....	61
6.2. Trabalhos futuros.....	61

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: A construção em terra no mundo	8
Figura 2: Cidades no Médio Oriente construídas em terra: (a) cidade de Bam, Irão; (b) cidade de Shibam, Iémen	8
Figura 3: Monumentos construídos em terra: (a) Grande Muralha da China; (b) pirâmide do Sol, México	9
Figura 4: Construções em terra na Europa: (a) Muralha de Adriano, Reino Unido; (b) Alhambra, Espanha	10
Figura 5: A construção em taipa em Portugal: (a) distribuição geográfica; (b) edifício em taipa no Alentejo	12
Figura 6: A construção em adobe em Portugal: (a) distribuição geográfica; (b) edifício de adobe em Aveiro	13
Figura 7: A construção em tabique em Portugal: (a) distribuição geográfica; (b) edifício de tabique em Cinfães	13
Figura 8: Prensa Terstaram	15
Figura 9: Esquema de construção de parede em BTC	16
Figura 10: Dióxido de carbono incorporado em materiais de alvenaria.....	17
Figura 11: Interlocking	20
Figura 12: Peneira	23
Figura 13: Prensa	24
Figura 14: Distribuição de posições para a fonte sonora e para o microfone.....	32
Figura 15: Sala do ensaio acústico sem parede	33
Figura 16: Distribuição de posições para a fonte sonora e para o Sonómetro – medição 1	37
Figura 17: Distribuição de posições para a fonte sonora e para o sonómetro – medição 2	37
Figura 18: Medição da sala emissora (a) e fonte sonora na sala recetora (b)	38
Figura 19: Pormenores das ligações entre compartimentos (a) e controle dos dados de medição (b)	39

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1: Técnicas de construção em terra	10
Tabela 2: Caracterização do solo	21
Tabela 3: Características do cimento	22
Tabela 4: Características da cal hidráulica	22
Tabela 5: Composição da fração sólida, em percentagem de cada mistura estudada.....	25
Tabela 6: Resultados obtidos para a tensão de rutura à compressão de cilindros submetidos a ensaios termomecânicos em regime estacionário.....	26
Tabela 7: Caracterização da sala	30
Tabela 8: Equipamentos da sala.....	31
Tabela 9: Dimensões dos 2 compartimentos da sala do ensaio acústico	34
Tabela 10: Dimensões da parede divisória.....	35
Tabela 11: Equipamentos para a medição dos índices.....	36
Tabela 12: Medições do tempo de reverberação.....	40
Tabela 13: Medições para o tempo de decaimento curto por baixa oitava.....	41
Tabela 14: Medições para o tempo central por banda de oitava.....	42
Tabela 15: Medições para a Claridade por banda de oitava.....	43
Tabela 16: Medições para a Claridade por banda de oitava	44
Tabela 17: Medições para a Claridade por banda de oitava	46
Tabela 18: Avaliação da Inteligibilidade do discurso	47
Tabela 19: Medições para a Intensidade Relativa	48
Tabela 20: Correção do ruído de fundo.....	55
Tabela 21: Resultados obtidos em cada item estudado	60
Tabela 22: Artigo 5º D.L.nº 96 – 2008 de 9 de junho.....	61

GRÁFICOS

Gráfico 1 - Tensão média de rutura à compressão dos cilindros para cada temperatura de exposição em regime estacionário.....	27
Gráfico 2 - TR por banda de oitava e respetivo desvio padrão (a tracejado)	40
Gráfico 3 - EDT por banda de oitava e respetivo desvio padrão (a tracejado)	41
Gráfico 4 - TS por banda de oitava e respetivo desvio padrão (a tracejado)	42
Gráfico 5 - C50 por banda de oitava e respetivo desvio padrão (a tracejado)	44
Gráfico 6 - C80 por banda de oitava e respetivo desvio padrão (a tracejado)	45
Gráfico 7 - D50 por banda de oitava e respetivo desvio padrão (a tracejado)	46
Gráfico 8 - Grel por banda de oitava e respetivo desvio padrão (a tracejado)	49
Gráfico 9 - Isolamento sonoro a sons de condução aérea padronizada - 1ª medição.....	51
Gráfico 10 - Isolamento sonoro a sons de condução aérea padronizada - 2ª medição.....	52
Gráfico 11 - Isolamento sonoro a sons de condução aérea normalizada - 1ª medição.....	53
Gráfico 12 - Isolamento sonoro a sons de condução aérea normalizada - 2ª medição	54
Gráfico 13 - Diferença de níveis - 1ª medição.....	56
Gráfico 14 - Diferença de níveis - 2ª medição.....	57
Gráfico 15 - Índice de redução sonora aparente - 1ª medição.....	58
Gráfico 16 - Índice de redução sonora aparente - 2ª medição	59

1. INTRODUÇÃO

1.1. Enquadramento

A construção em terra é, desde há muitos anos, um dos principais meios de construção utilizados pelo homem.

Nos países desenvolvidos utiliza-se muito o betão e a alvenaria em tijolo cozido mas a construção em terra apresenta diversas vantagens em relação a estas pois utiliza menos energia na produção, apresenta ainda vantagens ao nível ecológico e económico.

A construção sustentável é uma preocupação da sociedade atual, atribuindo uma dimensão ambiental às técnicas e respetivas escolhas de materiais, para a construção civil. As técnicas de construção em terra têm por base e utilizam materiais existentes no local de construção, dando uso ao que a natureza oferece no meio envolvente sem colocar em causa a sua integridade. Há técnicas de construção que causam impacto ambiental, como por exemplo o betão. Os processos para obtenção de betão implicam desde a extração do calcário até à obtenção dos agregados que contribuem para a destruição dos ecossistemas nos locais de extração, sendo ainda que o betão depois de usado, normalmente não é reutilizado.

A terra como material de construção tem uma pluralidade muito grande ao nível de técnicas e dos elementos construtivos. Sendo assim, esta pode ser escavada, empilhada, modelada, prensada, apiloada (compactada), recortada, extraída e moldada. Pode servir também para fazer o recobrimento, o enchimento ou a cobertura de estruturas.

As técnicas da construção em terra são inúmeras e variam de região para região conforme as características de cada lugar. As mais comuns são: o adobe, o superadobe, a taipa, o tabique, e os blocos de solo melhorado. Mais recentemente, surgiu a construção em alvenaria de blocos de terra comprimida (BTC).

Com o surgimento desta nova técnica construtiva, foram desenvolvidos BTC, nos laboratórios de Engenharia Civil da Universidade do Minho, em que foi utilizado solo residual granítico da região do Minho (norte de Portugal) estabilizado com ativação alcalina de cinzas volantes. Por ser uma nova técnica com novos constituintes, torna-se imprescindível o conhecimento de todas as suas propriedades e lacunas existentes no que diz respeito à fase técnica da conceção. É relevante ainda, que a técnica construtiva em BTC é uma possibilidade de resiliência ambiental.

1.2. Objetivos

A realização deste trabalho de investigação tem como finalidade a caracterização funcional de blocos de terra comprimida (BTC). Esta caracterização funcional passa por um estudo sobre a sua componente de isolamento acústico e de resistência ao fogo, tendo sido realizado um teste para avaliar como se comportam os blocos na presença do fogo. Para que estas duas avaliações tenham o resultado esperado, o primeiro desafio que foi encontrado foi o de definir a mistura que se iria usar para o fabrico dos provetes. A mistura que foi escolhida teve em conta não só os resultados dos ensaios de resistência mecânica, mas também os aspetos ambientais e económicos. Um dos aspetos ambientais mais influentes foi o de minimizar o uso de ligante (cimento).

Os testes foram divididos entre a Universidade de Trás-os-Montes e alto D'Ouro (UTAD) e o Instituto Politécnico de Bragança (IPB). A avaliação referente à componente acústica foi realizada em parceria com o laboratório de Engenharia Civil da UTAD. Quanto ao teste referente ao comportamento na presença do fogo foram realizados no IPB. Em ambos os casos o protocolo foi feito em simultâneo pelas Instituições em cima referidas e o Departamento de Engenharia Civil da Universidade do Minho.

Este desafio surge a partir de um projeto levado a cabo pelo DEC da Universidade do Minho, que se chama “b2terra” (“sê para a terra”) e no âmbito do qual ocorreu um workshop, referindo a presença como assistente e ajudante, na parte do fabrico dos BTC's, especialmente no uso da prensa.

No global, o objetivo desta dissertação é que, depois da recolha de todos os resultados práticos, provenientes dos testes realizados e da experiência adquirida no fabrico de BTC, haja condições em caracterizar a melhor técnica e mistura, levando em conta também os aspetos económicos e ambientais.

Outro objetivo será comparar outros materiais e técnicas construtivas correntes, como por exemplo, tijolo cozido que tenham sido sujeitas aos mesmos testes e avaliações tal como estes blocos – BTC.

1.3. Estrutura da dissertação

O trabalho apresentado foi organizado em 6 capítulos. O capítulo 1 dedica-se ao enquadramento geral do trabalho realizado relevando a motivação e os desafios. Neste mesmo

capítulo faz-se referência aos objetivos que se pretendem atingir com base na realização de dois ensaios de caracterização – acústica e comportamento ao fogo dos BTC.

O capítulo 2 pretende referir o estado de conhecimento do BTC, passando-se em revisão o enquadramento histórico geral da construção em terra em Portugal e no mundo, bem como as suas técnicas construtivas.

Serão ainda revistos no âmbito da construção em BTC, o conhecimento sobre a produção e as características físicas deste material, bem como vantagens e desvantagens de todo o processo.

No capítulo 3 pretende-se descrever os materiais usados durante todo o processo, bem como a produção, preparação e prensagem dos BTC. Este projeto envolveu um significativo número de BTC's realizados no laboratório do DEC – Universidade do Minho. Estes BTC foram utilizados no ensaio de caracterização acústica e em outros ensaios, de outros trabalhos de investigação, nomeadamente para o workshop no âmbito do projeto “b2terra”. É de referir que foram construídos provetes no laboratório da UTAD – Universidade de Vila Real, e utilizados no ensaio de caracterização do comportamento dos mesmos ao fogo. Estes provetes, apesar de fisicamente diferentes dos BTC, apresentam os mesmos constituintes e respetivas quantidades. Esta opção de ensaio prende-se ao facto de os BTC, pelas suas dimensões, não caberem dentro da câmara onde se realizou o ensaio ao fogo, sendo os provetes a alternativa. Este ensaio decorreu no IPB – Universidade de Bragança, o que implicou transporte dos provetes da UTAD para IPB.

Dando continuidade à construção desta dissertação, no capítulo 4 e 5, são apresentados os dois ensaios realizados. Deste modo, e apesar do objetivo ser colocar todas as avaliações a convergir para uma conclusão comum, optou-se por dividir e apresentar os mesmos em separado. Assim sendo, teremos um capítulo referente a cada teste – capítulo 4 (ensaio da presença ao fogo) e no capítulo 5 (ensaio acústico). Cada um destes capítulos terá uma apresentação de dados e uma discussão dos mesmos e serão ainda apresentadas as normas e protocolos usados para a realização dos mesmos testes.

No capítulo 6, para além de uma avaliação final dos objetivos deste trabalho, será apresentado também sugestões para trabalhos futuros.

1.4. Metodologia para o desenvolvimento do trabalho

Este trabalho de investigação começa pela realização de uma pesquisa bibliográfica sobre o tema em discussão. Esta pesquisa permitiu ter uma noção do que se tem vindo a desenvolver na

área. Este trabalho de pesquisa e procura de informação foi sendo realizada ao longo de todo o trabalho, nomeadamente no trabalho experimental.

Assim, esta tese recorreu à investigação (revisão bibliográfica) e à experimentação, o que lhe atribui um caráter experimental, uma vez que visa o conhecimento através da prática em laboratório. A parte experimental deste trabalho foi realizada no laboratório da Universidade do Minho (Departamento de engenharia Civil) e em parceria com dois laboratórios, o laboratório de Engenharia Civil da UTAD e o laboratório na Universidade de Bragança no IPB. As práticas laboratoriais compreenderam dois ensaios de produção de BTC e provetes, para posteriormente os caracterizar do ponto de vista do seu comportamento acústico e de resistência ao fogo. A construção dos blocos foi realizado no laboratório da Universidade do Minho e posteriormente transportados em veículo próprio para os laboratórios da UTAD e IPB. A caracterização do comportamento acústico aconteceu no laboratório de Engenharia Civil da UTAD, com recurso à construção de uma parede feita em BTC que servirá de divisória e objeto de estudo. O estudo do comportamento dos blocos na presença do fogo foi realizado no laboratório na Universidade de Bragança no IPB, com recurso a provetes com composição idêntica ao BTC.

2. REVISÃO DO ESTADO DE ARTE

«A construção em terra é uma técnica utilizada em todo o mundo e uma das formas de construção mais antigas. Este material apresenta diversas vantagens comparadamente com outros materiais existentes para a construção. Uma das técnicas mais desenvolvidas atualmente é a técnica de construção com blocos de terra compactada (BTC)»

In Carvalho 2015

2.1. Introdução

Sendo a construção civil e a manutenção de edifícios uma das atividades que apresenta maior impacto no meio ambiente, existe a necessidade encontrar alternativas para diminuir este impacto. A técnica construtiva em terra pode ser uma alternativa, mas há necessidade de lhe conferir uma evolução técnica. Existe uma percentagem importante de pessoas que habitam em construções edificadas com solo, não sendo conhecidos números oficiais, mas também pela evidência de que cerca de 50% dos recursos que são extraídos da natureza são direcionados para o setor da construção. Igual percentagem está relacionada com os resíduos de construção e demolição criados no nosso país (Braga e Rocheta, 2008). O setor da construção implica elevados impactos ambientais ao nível da extração de quantidades significativas de matérias-primas não renováveis, de elevados consumos energéticos e de consequentes emissões de gases responsáveis por efeito de estufa. Estes impactos ambientais despertam o dinamismo da comunidade científica em volta do tema da construção sustentável.

A definição de construção sustentável proposta pelo relatório Bruntland da ONU, diz ser um sistema construtivo que promove alterações conscientes no meio envolvente, por forma a atender às necessidades de edificação, habitação e uso do homem moderno, preservando o meio ambiente e os recursos naturais, garantindo qualidade de vida para as gerações atuais e futuras. A visão sobre o que é a construção sustentável tem a sua génese por volta dos anos 70 e surge como consequência da crise do Petróleo (Araújo 2016).

Nesta caminhada do paradigma da construção sustentável foi a União Europeia fixar metas para a redução do consumo de energia e diminuição de resíduos no parque edificado. Segundo o Relatório da União Europeia de 2017, espera-se redução das emissões dos gases com efeito de estufa (GEE) em 20%, em satisfazer 20% da procura de energia da UE através de energias renováveis e no aumento da eficiência energética em 20%. O mesmo Relatório (Relatório 2017), considera que os objetivos em matéria de alterações climáticas e de sustentabilidade energética passam por reduzir as emissões nacionais de GEE em, pelo menos, 40% até 2030, em relação

aos níveis de 2005, sob reserva da criação de um mecanismo de ajustamento no âmbito do Acordo de Paris. O mesmo documento (Relatório 2017) refere que Parlamento Europeu solicitou a fixação de uma meta vinculativa de 40% em termos de eficiência energética para 2030 e de uma meta vinculativa de, pelo menos, 30% em termos de fontes de energia renováveis (FER), sublinhando que tais metas devem ser implementadas através de objetivos nacionais individuais. A União Europeia já definiu também que até ao ano 2050 (Relatório 2017), a construção de edifícios novos tem de ser sem CO₂. Todos os alertas científicos sobre o impacto da construção civil no ambiente, bem como as medidas impostas pela União Europeia para o setor, deve orientar os que atuam ou irão atuar no setor da construção: Engenheiros Cívicos, Engenheiros Técnicos Cívicos e Arquitetos (Torgal, Jaladi, 2010). No Relatório de 2019, a União Europeia reitera as políticas ambientais subjacentes à construção civil. Este último Relatório (2019) considera que é necessária uma aceleração significativa do investimento, da inovação e do crescimento ecológico na UE e sublinha a importância de uma utilização mais generalizada de instrumentos de financiamento existentes e inovadores, como os contratos públicos ecológicos. Refere também esse Relatório a necessidade urgente de diferentes abordagens da atual política de investimento na Europa e nos seus estados membros.

Assim, é notório que as preocupações ambientais e de energia incorporada aos processos construtivos seja um tema que suscita cada vez mais discussão pelo impacto que geram na sociedade atual. As técnicas de construção em terra têm por base a utilização de materiais existentes no local de construção dando uso ao que a natureza oferece no seu meio circundante sem nunca a por em questão, proporcionando edifícios que utilizam elementos com menor energia incorporada, baixo impacto ambiental e mais sustentáveis. Contudo, no final do século XX, resultado de uma crise energética que se tem prolongado ao longo de todos estes anos, ocorreu uma tomada de consciência ecológica, fazendo destas técnicas construtivas uma alternativa às atuais, por se tratar de técnicas que utilizam uma matéria-prima ecológica, abundante, acessível, económica, reutilizável, incombustível e com boas características térmicas (Murta et al., 2010). Neste momento da história é possível verificar que as técnicas tradicionais de construção em terra são sistemas capazes de responder às necessidades energéticas e de conforto do Homem.

Para Braga e Rocheta (2008) todo o potencial que o solo apresenta como material de construção de edifícios ambientalmente mais saudáveis é subaproveitado. Para estes autores fica claro que é necessário adequar o saber empírico das técnicas construtivas ancestrais à arquitetura e aos conhecimentos científicos e tecnológicos da atualidade, conferindo a qualidade em questões

de segurança e habitabilidade que hoje são exigidas a todas as técnicas construtivas. Numa sociedade que se diz evoluída, não faz muito sentido que se continue a construir edifícios que não sejam pensados no sentido de respeito por um consumo energético sustentável.

Assim, para Correia (2006) a importância de um contínuo desenvolvimento e investigação nesta área tomam contornos relevantes, dado que as incertezas energéticas que possam existir em países em desenvolvimento ou desenvolvidos podem ser dissipadas pela simplicidade das técnicas de construção em terra e pela inesgotabilidade desta enquanto material de construção.

2.2. Construção em Terra

É de fácil observação na bibliografia que as técnicas de construção em terra são muitas vezes consideradas por diversos autores como sendo técnicas construtivas rudimentares, apesar de poderem ser encontradas com facilidade no parque habitacional português e de se revelarem como técnicas de aplicação não tão distantes no tempo como se possa supor. Nos dias que correm, é de fácil compreensão que este tipo de técnicas quase se perderam no esquecimento, estando este facto intimamente relacionado com as necessidades de segurança com que os projetistas se deparam aquando da elaboração dos projetos e com a reduzida evolução tecnológica que elas sofreram. No entanto, pensa-se que se estas forem encaradas de forma objetiva, sendo objeto de estudo de forma mais proeminente, possam constituir uma alternativa viável às técnicas de construção que aumentam a pegada ecológica.

Na conjuntura atual, e apesar de se encontrarem associadas às classes económicas mais desfavorecidas, as técnicas construtivas em terra podem ganhar novo folego, sendo para isso necessária a sua evolução tecnológica.

Ao contrário do que muitas vezes é referido, a discussão da durabilidade que este tipo de construções pode oferecer é facilmente entendido pela simples constatação de que algumas destas edificações perduraram durante centenas e milhares de anos, chegando até aos nossos dias (Soares, 2013). Como já foi referido anteriormente, podem ser encontradas edificações construídas em terra um pouco por todo o mundo, nas suas mais diversas técnicas construtivas, indicando claramente que ao longo dos tempos o solo sempre foi encarado como um material de construção viável. É muito difícil dizer ao certo o local ou a data correta do aparecimento das primeiras construções em terra, pensando-se que terão aparecido há cerca de 10 mil anos, surgindo da necessidade básica que o ser humano tinha em se proteger. Tal facto leva a que o seu traçado histórico seja incerto e difícil de conseguir, sendo, contudo, possível encontrar

marcações temporais que remetem para a região da Mesopotâmia e do antigo Egito. Contudo, é reconhecido que a terra é um dos materiais de construção mais antigos, e quanto mais se recua no tempo, mais evidências existem desse facto, tornando-se claro que este tem sido um material de eleição ao longo dos tempos.

Segundo Torgal (Torgal et al., 2009) quase 50% da população mundial vive em habitações feitas com terra, qualquer coisa como 3.000 milhões de indivíduos. Segundo o mesmo autor a terra está associada às épocas de revolução urbana, tendo sido inúmeras vezes utilizada como principal material na edificação de prestigiosos monumentos de elevada importância religiosa e militar de civilizações antigas, e de importantes cidades (Torgal et al., 2009). Importa referir que a construção em terra classificada como património da humanidade surge em cerca de 17% das construções classificadas como património da humanidade pela UNESCO e que se estima que 1/3 da população mundial viva em casa de terra, podendo-se observar a sua distribuição mundial na Figura 1(4 - webgrafia).



Figura 1: A construção em terra no mundo (foto: (4) webgrafia)

A versatilidade da construção em terra é notória de região para região através da utilização de diferentes técnicas que evoluíram na dependência do clima, da cultura, da economia e das características da própria terra como material de construção. Desta forma, é possível observar na atualidade testemunhos marcantes da utilização deste material na antiguidade, desde o Médio Oriente à América, passando pela Europa. No Médio Oriente é possível encontrar cidades construídas em terra que se encontram classificadas pela UNESCO como anteriormente se referiu, sendo disso exemplo a cidade de Bam (Figura 2a), no Irão, fundada durante o Império Parta, e que abrigou comerciantes da rota da seda durante longos anos. Outro exemplo é a cidade de Shibam (Figura 2b), no Iémen, que ainda se encontra habitada e que teve origem no século III, apesar de alguns dos edifícios que persistiram até hoje datarem do século XVI. É possível observar

nesta cidade as mais altas construções do mundo edificadas em terra crua, onde se podem encontrar edifícios que apresentam entre 5 a 11 andares construídos com paredes exteriores em adobe cuja espessura vai diminuindo em altura para aligeirar o seu peso e melhorar a estabilidade.



a)

b)

Figura 2: Cidades no Médio Oriente construídas em terra e classificadas pela UNESCO como património da humanidade: (a) cidade de Bam, Irão; (b) cidade de Shibam, Iémen (fotos: Torgal, et al. 2009)

Uma das construções mais conhecidas no mundo, e que também ela é património da humanidade, é a Grande Muralha da China (Figura 3a). Apesar deste facto, não é conhecido por todos que esta foi inicialmente construída com paliçadas de madeira e barro, sendo talvez a mais antiga construção em taipa do mundo. Esta foi posteriormente recoberta com pedras para adquirir a sua atual composição. Outro exemplo que utiliza o solo como material de construção, e que se apresenta como sendo património classificado, situa-se no continente americano, mais concretamente no México, onde é possível encontrar uma das maiores pirâmides do mundo. Essa pirâmide, conhecida por Pirâmide do Sol (Figura 3b), apresenta o núcleo totalmente construído em adobe, tendo sido posteriormente revestida com estuque e pedra, onde foi acrescentado um friso adornado por relevos com motivos geométricos.



(a)

(b)

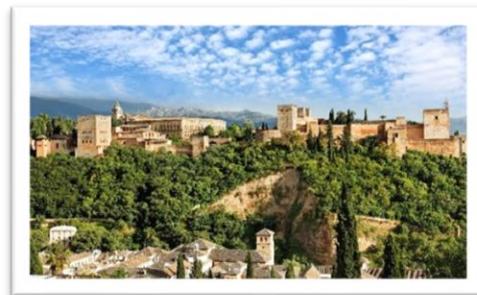
Figura 3: Monumentos construídos em terra classificadas pela UNESCO como património da humanidade: (a) Grande Muralha da China; (b) pirâmide do Sol, México (fotos: Torgal, et al. 2009)

Tal como acontece um pouco por todo o mundo, também na Europa é possível encontrar construções em terra, desde o Norte a Sul do Continente. Exemplo disso são, a Norte, a Muralha de Adriano (Figura 4a), uma fortificação construída em parte com terra próxima da que hoje é a fronteira da Inglaterra com a Escócia durante a ocupação dos Romanos, e que visava a proteção contra os ataques dos bárbaros, e a Sul o complexo de Alhambra, (Figura 4b), onde podem ser encontrados palácios e fortificações construídos à base de terra, e que durante muitos anos foram o alojamento da corte do Reino de Granada.

É, ainda, possível encontrar habitações edificadas em terra em países como a Dinamarca, Suécia, Inglaterra, Alemanha, França, Espanha e Portugal, tendo ocorrido a sua grande expansão durante o Império Romano.



(a)



(b)

Figura 4: Construções em terra na Europa classificadas pela UNESCO como património da humanidade: (a) Muralha de Adriano, Reino Unido; (b) Alhambra, Espanha (fotos: Torgal, et al. 2009)

2.2.1. Técnicas construtivas

A construção em terra continua a ser, na atualidade um importante material de construção, tal como o foi ao longo dos tempos, como já descrito anteriormente, o que é refletido pelo elevado número de pessoas que habitam em edificações deste tipo. Segundo Houben e Guillaud (2008), atualmente mais de um terço da humanidade reside em construções deste tipo, subindo para cerca de metade nos países em desenvolvimento. Por outro lado, segundo o Auroville Earth Institute (2014), as pessoas que vivem em habitações de terra representam cerca de 40% da população mundial. Reconhece-se, de facto, que se pode estar na presença de números um pouco exagerados, contudo, o número de pessoas que utilizam este tipo de construções, edificadas utilizando as mais diversas técnicas identificadas por Houben e Guillaud (2008), é bastante significativo (Tabela 1).

Tabela 1: Técnicas de construção em terra (Houben e Guillaud - 2008)

Estrutura Monolítica Portante	Estrutura em Alvenaria Portante	Estrutura de Suporte com Enchimento de Terra
Terra escavada Terra plástica Terra empilhada Terra moldada Taipa	Blocos apiloados Blocos prensados Blocos cortados Torrões de terra Terra extrudida Adobe mecânico Adobe manual Adobe moldado	Terra de recobrimento Terra sobre engradada Terra de cobertura Terra de enchimento

As técnicas de construção em terra segundo Houben e Guillaud (2008) estão associadas ao clima, à economia e à cultura da região. Segundo estes dois autores, existem na generalidade dois constituintes fundamentais: terra e água. Dependendo da técnica é possível adicionar outros materiais, os quais visam facilitar o processo de construção e melhorar as propriedades da terra, uma vez que este tipo de construção está associado ao uso de solo local, que naturalmente possui características próprias.

Também em Portugal é possível encontrar construções em terra, sendo as técnicas construtivas mais comuns a taipa, o adobe e o tabique.

A construção em taipa baseia-se na técnica onde o barro com mistura de água e terra é compactado horizontalmente num trançado de madeira para formar a parede. A terra crua é colocada na cofragem e é prensada ou compactada com um pilão ou um compressor pneumático.

Os blocos de adobe são fabricados à base de terra crua, trata-se de um bloco maciço, resultante da mistura de terra crua, areia e palha cortada. Estes blocos são moldados em moldes de madeira e secos ao sol, não sendo comprimidos.

O adobe foi amplamente utilizado por ser uma alternativa economicamente mais viável aos tijolos cerâmicos cozidos (ISBN 2005). Segundo mesma fonte o adobe permite também um melhor comportamento térmico e acústico e um número muito variável de dimensões das peças.

O tabique é constituído por uma estrutura de madeira, basicamente revestida por um material de revestimento/enchimento à base de terra crua, podendo em casos pontuais possuir carolos de espigas de milho ou palha como enchimento.

Um elemento construtivo de tabique é construído através da prega de ripas de madeira sobre tábuas de madeira colocadas na vertical, sendo o conjunto revestido em ambas as faces, com material à base de terra crua, formando uma parede.

Apesar de a construção em terra ter caído em desuso com o passar dos tempos, ainda podem ser observadas construções que utilizam o solo como matéria-prima desde o litoral Algarvio até às regiões de Trás-os-Montes, Alto Douro e Minho. Tal como é possível observar nas Figuras 5, 6 e 7, estas três técnicas podem ser encontradas em zonas bastante distintas do país, facto que está diretamente relacionado com o solo disponível em cada local, bem como com as condições climáticas que aí possam ser encontradas.

Na Região mais a Sul do País, mais concretamente nas zonas do Algarve e do Alentejo, a técnica mais frequentemente utilizada, e que pode ser encontrada um pouco por todo esse território, é a construção em taipa (Figura 5a). Esta técnica consiste na execução de paredes autoportantes moldadas «in situ» através da compactação de terra húmida (argila e cascalho) num taipal ou cofragem. Até aos anos 50 esta era largamente utilizada naquela Região, onde ainda podem ser encontradas construções centenárias, como, por exemplo, os castelos de Alcácer do Sal, de Silves ou de Paderne, bem como construções habitacionais em taipa que se podem encontrar um pouco por toda a região alentejana (Figura 5b).

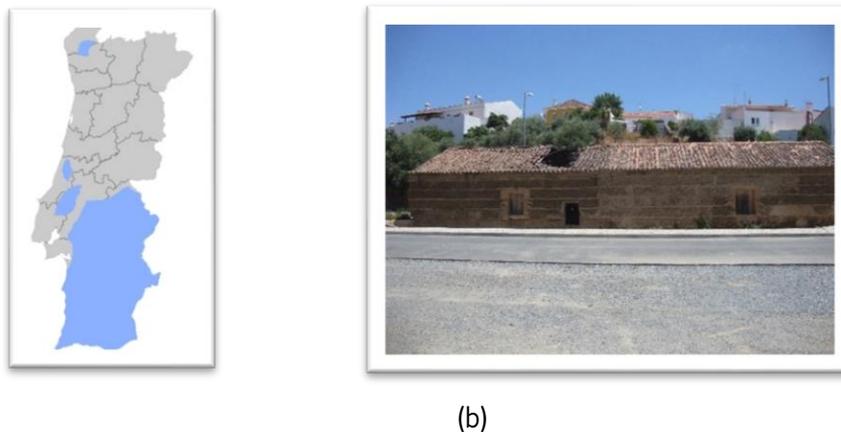


Figura 5: A construção em taipa em Portugal: (a) distribuição geográfica; (b) edifício em taipa no Alentejo.

No que diz respeito à Região do Centro do País (Figura 6a), numa faixa que se alonga de Sul para Norte, abrangendo os distritos de Setúbal, Évora, Portalegre, Santarém, Leiria, Coimbra e Aveiro existe a predominância de edifícios construídos em adobe (Figura 6b). O adobe é um elemento de construção vernacular, considerado um dos antecedentes históricos do tijolo de barro. Estes são constituídos essencialmente por terra e água, aos quais geralmente é adicionada palha

ou outras fibras naturais, sendo moldados em formas por processos artesanais ou semi-industriais. Em termos estéticos, as paredes de adobe podem ficar com os adobes à vista, sem tratamento superficial ou podem ser rebocados com uma argamassa também à base de terra (Torgal et al., 2009).



Figura 6: A construção em adobe em Portugal: (a) distribuição geográfica; (b) edifício de adobe em Aveiro.

Já no que se refere ao Norte do País, nas Beiras Alta e Baixa, em Trás-os-Montes e entre Douro e Minho (Figura 7a), é possível encontrar com maior frequência construções em tabique, em que as paredes são constituídas, de uma forma geral, por uma estrutura de madeira revestida em ambas as faces por argamassas à base de terra e cal (Figura 7b). Em alguns casos é possível encontrar-se palha, rama de cebola ou carolos de espigas de milho como elementos de enchimento. De forma a melhorar as suas características de durabilidade, são utilizadas muitas vezes chapas de zinco ou lousas de ardósia colocadas na face exterior das paredes, criando uma barreira impermeável à ação das chuvas. Neste método construtivo é a madeira que confere capacidade resistente à estrutura, onde o papel funcional que a terra assume se resume ao de material de enchimento e de revestimento, fazendo com que este método seja bastante distinto dos restantes. É possível verificar que neste tipo de construções as paredes exteriores ao nível do rés-do-chão são constituídas por alvenaria de pedra.



Figura 7: A construção em tabique em Portugal: (a) distribuição geográfica; (b) edifício de tabique em Cinfaes.

2.2.2. Vantagens e desvantagens

Segundo Adam e Agib (2001) são enumeradas as vantagens do uso da terra como material de construção. Segundo os autores referidos, há vantagens sobre cinco dimensões – económica, ecológica e política, social e cultural. Os mesmos (Adam e Agib 2001) definem características que atribuem vantagens económicas ao processo da construção em terra como: um recurso normalmente existente no local ou conseguido a baixo preço, podendo reduzir consideravelmente o custo de obra e a facilidade de uso de terra, faz com que normalmente não seja necessário nenhum equipamento específico. Os autores (Adam e Agib 2001) afirmam que a terra sendo um recurso que não provoca poluição, uma vez que é trabalhado em cru, ao contrário do que acontece com outras matérias, nomeadamente o betão e sendo um material reutilizável as vezes que forem necessárias apontam vantagens ecológicas. As vantagens políticas do recurso à terra para construção assentam no princípio da terra ser um material global, existente em todo mundo, de acordo com as diferentes potencialidades de cada país (Adam e Agib 2001). Ainda no domínio das vantagens, Adam e Agib (2001) referem a técnica da construção em terra com vantagens sociais pois permite reduzir o custo da habitação social e promover a sociabilização do povo, por serem técnicas que permitem a autoconstrução. Estes investigadores relembram o facto de a construção em terra ter sido usada nas civilizações antigas, e que atualmente pode assegurar uma linguagem criativa e adaptada às histórias de cada cultura, aferindo vantagens culturais.

Revistas as vantagens da construção em terra impõe-se identificar algumas das limitações. As construções em terra são vulneráveis à água. Os elementos construídos com terra têm durabilidade reduzida quando estão em contacto com a água porque esta tende a desagregá-los (Carvalho, 2008). Este material é muito permeável, sendo aconselhável uma boa proteção das paredes face aos elementos atmosféricos (água, humidade, neve, geada). A sua resistência à água

é bastante reduzida sendo, por isso, muitas vezes, adicionados estabilizantes como cal, cimento, betumes.

Outra das dificuldades encontradas é quando as construções são sujeitas a esforços de compressão e tração diminui as suas propriedades mecânicas, principalmente nos elementos construtivos como paredes, muros, lajes ou arcos. Assim, e tal com todas as construções exige manutenção, mas mais frequente em relação às construções realizadas com outros materiais.

A falta de regulamentação relativamente às técnicas construtivas que utilizam a terra como material de construção, assim como a falta de conhecimento sobre elas pode ser tida como uma outra limitação.

2.3. A construção em BTC

2.3.1. Produção de BTC e Características Físicas dos BTC

O Blocos de Terra Compactada ou Blocos de Terra Comprimida – também designado por tijolo ecológico – é um dos métodos de construção em terra crua mais utilizados atualmente (Simões 2015). Trata-se de um material relativamente recente e as primeiras experiências de aplicação BTC foram efetuadas na Europa no início do século XIX (Simões 2015). Segundo Simões (2015) foi na Colômbia, decorria a década de 50 do século XX, quando apareceu a primeira máquina utilizada para a construção dos blocos e foi designada por prensa Terstaram (Figura 8).



Figura 8: Prensa Terstaram

É uma técnica que surge de uma evolução do adobe, através da estabilização do solo por meios mecânicos, sendo constituído pela compactação de solo confinado num molde. Esta prensa (Figura 8) permite obter pequenos bolos de terra prensada, mais resistentes e duráveis em relação ao adobe, e a sua produção tem uma qualidade controlada uma vez que o processo é mais industrializado (Silva, 2013).

Esta compactação é realizada através de uma prensa acionada de forma manual, pela força humana, permitindo realizar diversos tipos de blocos, maciços ou perfurados, e pequenas placas de revestimento. A compactação traduz-se na prática pelo aumento da resistência mecânica dos blocos de terra crua, pelo aumento do contacto entre as partículas e pela diminuição da porosidade, através da eliminação de vazios. Os blocos de terra podem ser compactados através de prensas hidráulicas, ou seja, não requerem força manual, tornando-se num processo de fabrico mais rápido, sobretudo em máquina que compactam diversos blocos ao mesmo tempo. Estes blocos apresentam uma resistência mecânica substancialmente maior em relação aos prensados manualmente. Tendo ainda uma maior resistência ao contacto com a água, uma vez que o ajuste entre as partículas é maior, existindo assim uma menor quantidade de vazios. As prensas podem ser fixas ou móveis. A mobilidade destas últimas permite a execução dos blocos no local da obra tal como nas prensas manuais, com a vantagem de uma maior rapidez de fabrico. Assim, a característica móvel das prensas atribui uma maior sustentabilidade a este tipo de construção, pois pode evitar o transporte desnecessário.

Quando as características do solo não são adequadas, é necessário usar estabilizantes de modo a obter as propriedades pretendidas.

A forma de construir é semelhante ao tijolo comum, mas quando o BTC é encaixável permite assentar os blocos com menor uso de argamassa, dispensando mesmo o uso de argamassa nas juntas verticais. Em termos de estrutura esta pode ser uma estrutura convencional, em betão ou madeira, ou ser incorporada no próprio bloco perfurado. A Figura 9 pretende evidenciar o processo como vão ser construídas as paredes.



Figura 9: Esquema de construção de parede em BTC pelo método de Interlocking.

2.3.2. Vantagens e desvantagens

É possível referir que a utilização de BTC para edificação de habitações apresenta vantagens e desvantagens, encontrando-se algumas delas em linha com as apresentadas anteriormente para a construção em terra na sua expressão global. Porém, é possível encontrar algumas que são particulares à sua utilização. Assim, como vantagens particulares à construção em BTC, é possível indicar as seguintes (Adam e Agib, 2001):

- Baixo custo do material, bem como de produção, utilizando a matéria-prima disponível no local e mão-de-obra semiquificada;
- Adapta-se com extrema facilidade às necessidades técnicas, sociais e aos hábitos culturais;
- Não exige elevadas capacidades técnicas uma vez que se apresenta como uma tecnologia de fácil aprendizagem;
- Permite uma fácil adaptação às necessidades de produção, pois o equipamento a isso necessário, está disponível na forma de prensa manual ou hidráulica, fixa ou móvel;
- Permite o controlo da produção, sendo possível aumentar dessa forma a qualidade e a regularidade, admitindo diversos acabamentos.

Para Torgal e Jalali (2010) existe uma necessidade cada vez mais atual de materiais mais “amigos do ambiente”. Estes autores defendem que uma das principais vantagens do recurso à terra é de permite a redeposição no meio ambiente, sem causar qualquer dano (Figura 10) o que permite classificar esta técnica com material ecológico.

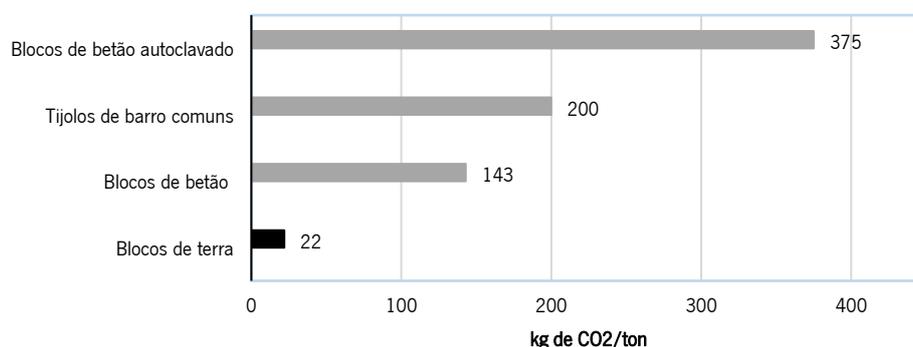


Figura 10: Dióxido de carbono incorporado em materiais de alvenaria (adaptado de Torgal e Jalali, 2010).

Torgal e Jalali (2010) indicam ainda outros aspetos de especial relevo, tais como o seu comportamento a nível térmico, uma vez que é dotado da capacidade de armazenar e libertar lentamente o calor, conduzindo a uma temperatura mais ou menos constante no interior do

edifício. Outro aspeto vantajoso para Torgal e Jalali (2010) da construção em terra é a aptidão para regular a humidade interior, pois a porosidade que apresenta permite que as trocas de vapor de água com o ar conduzam a um nível de humidade constante, em níveis entre os 40% e os 60%, reduzindo os riscos para a saúde humana que a ele possam estar associados e evitando a formação de fungos que normalmente surgem em ambientes com níveis de humidade superiores.

Tal como acontece no caso das vantagens, a construção em BTC também apresenta transversalidade no que diz respeito às desvantagens da construção em terra.

Para Adam e Agib (2001) também é possível referir algumas desvantagens específicas desta técnica construtiva:

- Necessidade de uma identificação adequada do solo;
- Impossibilidade de construção de grandes vãos e de edifícios em altura;
- Baixo desempenho mecânico quando comparados com o betão ou com outros materiais de utilização mais corrente;
- Necessidade de um conhecimento mínimo por parte das equipas de trabalho que permitam a produção de BTC com qualidade;
- A subestabilização pode conduzir a blocos de reduzida qualidade e a sobrestabilização a custos acrescidos;
- A parcial ou completa inexistência de regulamentação adequada.

Torgal e Jalali (2010) também identificam as principais desvantagens associadas ao uso de blocos de terra:

- Desconhecimento para com este tipo de técnica construtiva;
- Discriminação social que advém do facto de a terra e esta técnica construtiva estarem associadas à pobreza económica;
- Impossibilidade de construção de edifícios de grandes dimensões.

Em forma de conclusão, e tendo em consideração tudo o que foi descrito anteriormente ao longo deste Capítulo, é possível dizer que a terra é um material que oferece muitas vantagens, nomeadamente a capacidade de contribuir para uma construção mais sustentável. No entanto carece de aceitação institucional e social na maioria dos países e da criação de regras regulamentares que permitam satisfazer comportamentos já regulamentados, como resistência ao fogo e desempenho acústico.

3. CARACTERIZAÇÃO E FABRICO DOS BTC UTILIZADOS

«A indústria da construção está associada a um elevado número de impactes ambientais, e o aumento do consumo de matérias-primas e energia conduziram a um aumento significativo da poluição. Assim, atualmente, as preocupações ambientais começam a surgir, dando uma resposta às necessidades do desenvolvimento de materiais, de técnicas e de métodos de construção sustentáveis que minimizem o impacte ambiental na atividade da construção.»

In (Domingues, 2015)

3.1. Introdução

De uma forma geral, para produzir BTC é necessário colocar terra humedecida numa prensa de ferro, que posteriormente é comprimida manualmente ou de forma automática. Atualmente, existem máquinas que permitem fabricar BTC de diversas formas e dimensões. Se for feita uma breve análise aos blocos compactados manualmente, é possível dizer que estes necessitam de mais mão-de-obra e tempo de produção, tendo, contudo, a vantagem de serem mais económicos no que diz respeito ao consumo energético. Todavia, em determinados espaços, físicos ou temporais, por vezes existe a necessidade de utilizar equipamentos mecanizados, que são facilmente adaptados a diferentes escalas de produção. Isto conduz a que os BTC possam ser produzidos tanto em pequenas oficinas locais, com o principal intuito de serem utilizados na execução de uma obra específica, como em grandes armazéns industriais ou semi-industriais. De uma forma geral, quer no caso do processo manual ou industrializado de produção, a metodologia de produção dos blocos é essencialmente o mesmo.

As prensas utilizadas no fabrico dos blocos têm como principal objetivo comprimir as partículas, conduzindo a um aumento do peso volúmico. As prensas operadas manualmente, já referidas anteriormente, permitem somente a compressão e a ejeção do bloco, permitindo a produção de 300 a 500 blocos por dia. Tal como as prensas manuais, as prensas motorizadas apenas permitem a compressão e a ejeção dos BTC. Porém, estas permitem uma produção diária de blocos superior, que pode ir desde os 1000 aos 5000 blocos por dia. As unidades de produção móveis são unidades de produção que são fáceis de transportar e onde, além da compressão e ejeção do bloco, é possível realizar a preparação da mistura, permitindo atingir uma produção diária entre as 1500 e as 4000 unidades. Já no que diz respeito às unidades de produção fixas é possível dizer que permitem efetuar todas as operações já indicadas anteriormente para os tipos de prensa já referidos, permitindo ainda a preparação do solo (destorroamento e peneiração),

sendo, na maior parte dos casos, completamente automatizadas. Como espectável, estas são as que permitem uma maior produção diária de blocos, podendo a mesma variar entre as 2000 e as 10000 unidades.

3.2. Descrição dos materiais utilizados

Durante o período experimental da dissertação foram realizados dois tipos de BTC: o regular e o com método interlocking (Figura 11). Foram construídos cerca de 300 blocos regulares na prensa manual o que permitiu adquirir alguma experiência no uso da prensa manual. Estes blocos foram feitos com uma mistura de 8 baldes de solo (Guimarães), 1 balde de cimento e 1 balde de cal. Posteriormente, e devido à necessidade de fazer os testes ao fogo e construir a parede para os testes acústicos, foram feitos cerca de 600 blocos com metodologia Interlocking e cerca de 300 provetes.

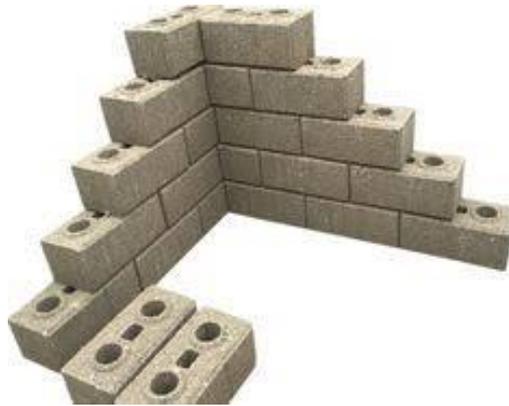


Figura 11 – Interlocking

Nesta fase experimental foi importante a aprendizagem do uso da prensa manual. No caso dos blocos produzidos que respeitaram as características do método de Interlocking (Figura 11), a composição foi relevante uma vez que os blocos construídos iriam ser utilizados no ensaio acústico. Assim sendo os materiais utilizados na produção foram:

- Solo recolhido em Vila Real (87,5%)
- Cimento - CEM 32,5N-Cimpor (7,5%)
- Cal hidráulica - HL5-Cimpor (5%)

As tabelas 2,3 e 4 que se seguem com as características de cada um dos materiais utilizados:

Tabela 2 – Caracterização do solo

Ensaio	Parâmetro em avaliação	Resultados	
		Ensaio 1	Ensaio 2
Análise Granulométrica (LNEC E196, 1966)	Seixo e areia (%) ($0.06\text{mm} < \Phi \leq 20\text{mm}$)	82	76.6
	Silte (%) ($0.002\text{mm} < \Phi \leq 0.06\text{mm}$)	14	14.8
	Argila (%) ($\Phi \leq 0.002\text{mm}$)	4	8.6
Limites de Consistência (NP 143, 1969)	Limite de liquidez (%)	28	34
	Limite de plasticidade (%)	—	—
Densidade das Partículas (NP 83, 1966)	Peso específico dos grãos (g/cm^3)	2.62	2.62
Ensaio de Compactação Leve (LNEC E197, 1966)	Teor em água ótimo (%)	12.1	15.9
	Baridade seca máxima (g/cm^3)	1.71	1.75
Ensaio de Compactação Modificado (LNEC E197, 1966)	Teor em água ótimo (%)	12.3	12.6
	Baridade seca máxima (g/cm^3)	1.88	1.92

A Tabela 2 descreve detalhadamente as características do solo que vai ser usado na realização dos BTC, sendo o seixo e a areia os componentes utilizados em maior quantidade. Na Tabela 2, também se pode verificar que as características e os componentes do solo usado são similares para os 2 ensaios.

Nas Tabelas 3 e 4, pode-se consultar a ficha técnica de caracterização do cimento e da cal respetivamente, utilizados na construção dos BTC. Estas informações técnicas foram retiradas do site oficial da marca em questão, a CIMPOR, e tem como objetivo conhecer as características químicas, físicas e mecânicas do cimento e da cal. As Tabelas 2 e 3 oferecem igualmente informações da resistência dos componentes (cimento e cal) à compressão, sendo a do cimento de 32,5 MPa e a da cal 5,0 MPa, ambas num período de 28 dias.

Tabela 3- caraterísticas do cimento

Cimento - CEM 32,5N-Cimpor (7,5%)	
<p>Constituintes 65% ≤ Clínquer ≤ 79% 21% ≤ Calcário ≤ 35% Sulfato de cálcio regulador de presa</p> <p>Características</p> <ul style="list-style-type: none"> ▶ Químicas Sulfatos (SO₃) ≤ 3,5% Cloretos (Cl) ≤ 0,10% ▶ Físicas Início de presa (min) ≥ 75 Expansibilidade (mm) ≤ 10 ▶ Mecânicas Resistência à compressão Valores mínimos . 7 dias: 16,0 MPa . 28 dias: 32,5 MPa 	
<p>Propriedades especiais do betão fabricado com este cimento</p> <ul style="list-style-type: none"> ▶ Desenvolvimento lento das resistências iniciais ▶ Progressão muito sensível das resistências até 28 dias ▶ Elevada trabalhabilidade com baixa relação água/cimento 	

Tabela 4 -Caraterísticas da Cal hidráulica

Cal hidráulica - HL5-Cimpor (5%)	
<p>Constituintes Calcário margoso cozido com extinção e moagem Sulfato de cálcio regulador de presa</p> <p>Características</p> <ul style="list-style-type: none"> ▶ Químicas Sulfatos (SO₃) ≤ 3,0% Cal livre ≥ 3% ▶ Físicas Início de presa (min) ≥ 60 Expansibilidade (mm) ≤ 20 Resíduo a 0,090 mm ≤ 15% Baridade (g/l) ≥ 600 ▶ Mecânicas Resistência à compressão Valores mínimos . 7 dias: 2,0 MPa . 28 dias: 5,0 MPa 	
<p>Propriedades especiais das argamassas fabricadas com cal hidráulica do Cabo Mondego</p> <ul style="list-style-type: none"> ▶ Grande plasticidade e elevada trabalhabilidade ▶ Forte aderência ▶ Grande poder de retenção de água, opondo-se à retracção inicial ▶ Fraca tendência para a fissuração e fendilhamento ▶ Boa impermeabilidade e durabilidade 	

Quanto ao processo de fabrico dos provetes, estes foram realizados com 5 diferentes tipos de mistura:

- 5% de Cimento e 5% de Cal;
- 5% de Cimento e 7.5% de Cal;
- 7.5% Cimento e 5% de Cal;
- 7.5% Cimento e 7% de Cal;
- 10% Cimento e 10% de Cal.

Sendo que em todas elas, a mistura foi completada com solo recolhido em Vila Real (Tabela 2). Quanto ao cimento e à cal, os escolhidos apresentam as mesmas características dos apresentados na Tabela 3 e 4.

3.3. Processo Produção

3.3.1. Preparação

A preparação utilizada para os blocos e para os provetes foi semelhante. Não foi necessário fazer nem secagem nem destroncamento, pois os mesmos já tinham sido feitos. Procedeu-se, só, à peneiração do solo (Figura 12). Feita a peneiração, foi usada uma balança para definir quantidades e proceder posteriormente à mistura com adição de água. Para fazer a mistura, no caso dos provetes, foi usada uma pequena betoneira, por sua vez, para os blocos, a mistura utilizada foi feita no chão, com ajuda de uma pá e de um regador, para ir adicionando a água necessária.



Figura 12 – Peneira

3.3.2. Prensagem dos BTC

Os provetes foram prensados utilizando uma prensa manual de provetes cilíndricos. Os blocos de terra comprimida (BTC), foram prensados com recurso a uma Prensa Terstaram (Figura 12), também ela manual. Os blocos, depois de prensados, foram removidos da prensa e colocados em paletes para proceder á cura. Este processo é delicado e implica algum cuidado, visto que o bloco no início do processo, apresenta fraca consistência, exigindo cuidado de forma a preservar as suas características.



Figura 13 - Prensa

3.3.3. Cura

O tempo de cura, em ambos os processos de construção (provetes e blocos de terra comprimida) foi de 28 dias, previamente protocolado. Tanto os blocos como os provetes foram deixados em ambiente pouco húmido e cobertos por plástico para potenciar a sua secagem.

3.4 Considerações Finais

O processo inicial de aprendizagem, de como preparar e fazer as misturas para a realização de blocos de terra comprimida em prensa manual, bem como a utilização da prensa, foi um processo enriquecedor. Foi igualmente importante perceber, como as quantidades podem influenciar a consistência do bloco como por exemplo, a adição excessiva de água.

4. ENSAIO DE CARACTERIZAÇÃO DO COMPORTAMENTO DOS BTC AO FOGO

O estudo, sobre comportamento dos BTC na presença do fogo, veio na sequência da necessidade de se conhecer melhor o comportamento ao fogo deste tipo de misturas em blocos, contribuindo assim para um melhor conhecimento do material.

Como foi mencionado no capítulo 3 desta dissertação, realizaram-se por várias vezes BTC com diferentes misturas para os diversos ensaios que foram realizados. Neste caso em particular, devido às limitações que a câmara onde se expõe os materiais ao fogo apresenta, não se realizaram blocos, mas sim provetes com os mesmos constituintes que o já referido BTC, mas fisicamente diferentes. Os provetes utilizados apresentavam forma cilíndrica e tinham 7 cm de diâmetro e 14 cm de altura. Este ensaio contempla 5 misturas distintas e 6 patamares de temperatura e foram testados 3 provetes por cada mistura para cada patamar, o que perfaz um total de 90 provetes utilizados.

Os constituintes são os mesmos já apresentados anteriormente, Cimento, Cal e solo de Vila Real. Os provetes, bem como a peneiração do solo, foram feitos em Vila Real, no laboratório de Engenharia Civil da Universidade de Trás dos Montes e Alto Douro. Os testes ocorreram no Instituto Politécnico de Bragança, durante três dias, e o procedimento é o apresentado neste capítulo.

4.1. Procedimento e Norma de Ensaio

As misturas estudadas ao nível da resistência termomecânica em regime estacionário encontram-se identificadas na Tabela 5:

Tabela 5: Composição da fração sólida, em percentagem, de cada mistura estudada.

		MISTURA				
		M1	M2	M3	M4	M5
COMPOSIÇÃO (%)	Solo	90.0	87.5	87.5	85.0	80.0
	Cimento	5.0	7.5	5.0	7.5	10.0
	Cal	5.0	5.0	7.5	7.5	10.0

4.2. Resultados obtidos

Os resultados obtidos através dos ensaios no que diz respeito à tensão de rutura à compressão dos provetes cilíndricos encontram-se expostos na Tabela 6.

Tabela 6: Resultados obtidos para a tensão de rutura à compressão de provetes submetidos a ensaios termomecânicos em regime estacionário (coeficiente de variação entre parenteses).

		TENSÃO DE RUTURA ($f_{c,c}$) (N/mm ²) (CdV (%))				
		M1	M2	M3	M4	M5
TEMPERATURA (°C)	20	3.60 (2.31)	4.86 (5.97)	3.23 (0.58)	3.67 (2.22)	4.51 (7.63)
	100	3.53 (2.84)	4.37 (4.40)	3.29 (4.79)	3.64 (5.75)	4.80 (4.41)
	200	4.37 (4.02)	5.02 (5.88)	3.83 (5.96)	4.88 (6.83)	5.47 (7.46)
	400	5.83 (5.04)	8.01 (2.33)	6.39 (5.99)	6.52 (5.14)	8.96 (2.50)
	600	5.40 (1.38)	5.50 (2.64)	6.01 (2.19)	6.39 (8.17)	8.51 (6.84)
	800	4.27 (4.88)	4.33 (1.01)	4.87 (7.80)	5.44 (3.76)	8.25 (5.01)

Através da análise da Tabela 6 é possível observar que, de forma genérica, a mistura que apresenta melhores resultados é aquela onde se verifica uma maior incorporação de cimento e de cal, tal como seria expectável. Contudo, é visado neste trabalho a melhoria das propriedades físicas e mecânicas do solo com vista à sua aplicação na produção de blocos de terra comprimida, sendo este sistema construtivo como um dos mecanismos da bioconstrução. Assim, e entendendo-se que a bioconstrução busca a proteção e a resiliência ambiental, a adição destes ligantes em quantidades que possam ser compreendidas como excessivas pode conduzir à criação de um paradoxo. De facto, as tensões normalmente instaladas nas alvenarias sejam elas estruturais ou não, são baixas quando comparadas com as tensões obtidas para os materiais estudados. Nesse sentido, a escolha da mistura a utilizar para a produção dos blocos deve ser realizada tendo em atenção as possíveis variações ao nível da resistência por alteração da geometria, pelo efeito escala, e mesmo pelas características próprias de produção das misturas e dos respetivos blocos. Ainda, a seleção da mistura que melhor se adequa ao caso de estudo deve estar assente no melhor compromisso que se possa obter quando analisado o trinómio comportamento mecânico/durabilidade/impacte ambiental. Desta forma, a mistura sugerida para produção de BTC é a mistura M2. Esta apresenta uma resistência mecânica suficiente (valores atribuídos pelo software) para a utilização nos ensaios e uma quantidade de ligante que evidencia permitir uma

boa durabilidade do produto em serviço. De igual forma, a composição da fase sólida da mistura enquadra-se no sugerido por diversos autores, onde a incorporação de ligante nunca deve ultrapassar os 15% de forma a garantir boas prestações a nível económico e ambiental dos produtos obtidos.

4.3. Análise de resultados

Com o intuito de obter uma melhor compreensão por comparação dos resultados obtidos, estes foram dispostos graficamente (Gráfico 1), que relaciona a tensão de rutura à compressão dos cilindros ($f'_{c,c}$) com a temperatura de exposição em regime estacionário a que os mesmos foram submetidos.

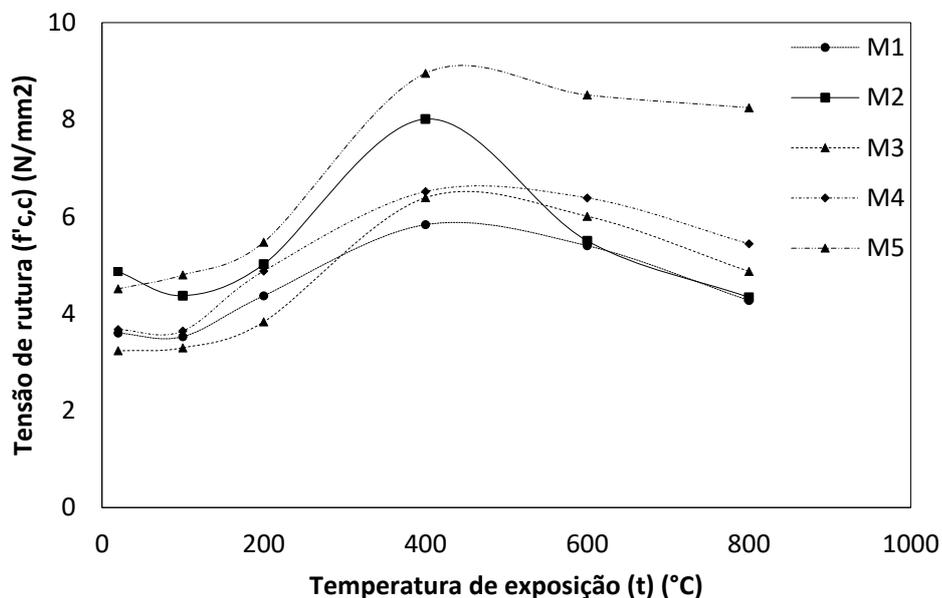


Gráfico 1: Tensão média de rutura à compressão dos cilindros para cada temperatura de exposição em regime estacionário.

Através do exposto no Gráfico 1 é possível concluir que existem dois pontos de inflexão na generalidade das curvas representadas. De facto, a primeira inflexão apresenta uma perda de resistência quase residual do material para a temperatura de 100°C. Os materiais que utilizam o cimento como principal agente de cimentação nas suas composições apresentam perda de resistência para temperaturas a partir dos 60°C. Porém, a gama de temperaturas compreendida entre a indicada e os 300°C não influi na resistência desses materiais de forma muito expressiva. Só para valores de temperatura superiores a esta é que se verifica, normalmente, uma queda acentuada da resistência mecânica, um facto que se agrava ainda mais em situações onde o

arrefecimento do material se dá de uma forma muito rápida. Torna-se, assim, natural que este material, que contém cimento na sua composição, acompanhe de certa forma este comportamento.

Continuando com a análise ao gráfico 1, é possível observar que não se verifica a perda de resistência do material com o aumento da temperatura, tal como era expectável, numa gama de temperaturas situada entre os 200 e os 500°C. Aos 200°C inicia-se o processo de cozedura do material, muito por força da presença de cal e de argila na composição de cada mistura, o qual parece, tendencialmente, sobrepor-se ao processo de degradação imposto pela ação da temperatura. É de notar que, aproximadamente aos 500°C, se observa uma nova inflexão nas curvas, existindo a partir desta temperatura uma inversão nos efeitos de cozedura e de degradação térmica, verificando-se a sobreposição desta em relação àquela. É ainda possível referir que o solo utilizado nas misturas é um solo residual granítico, o qual apresenta geralmente na sua composição quantidades abundantes de minerais de quartzo. Na verdade, para valores entre os 550 e os 600°C verifica-se a inversão do quartzo. Nesta fase todo o quartzo existente na mistura passa à sua forma de alta temperatura, existindo uma rápida variação do volume da amostra (aproximadamente 2% em expansão). A rapidez destes fenómenos cria, invariavelmente, ruturas nos corpos dos elementos, o que conduz a potenciais perdas de resistência devido a este fenómeno.

5. ENSAIO DE CARACTERIZAÇÃO ACÚSTICA DOS BTC

5.1. Procedimento e Normas de Ensaio

O Ensaio foi realizado na Universidade de Trás dos Montes e Alto Douro (UTAD) com o apoio do Laboratório de Saúde na Edificação do UBIMEDICAL, e teve dois momentos: um ensaio realizado numa sala sem parede divisória e outro ensaio realizado na mesma sala, mas desta feita com uma parede, toda ela construída em BTC, a dividir a sala em duas (2) partes semelhantes no espaço.

5.1.1. Sala sem parede

O primeiro ensaio acústico foi efetuado numa sala ampla sem divisão, onde foi necessário o conhecimento da respetiva sala, para aferir boas condições para a realização dos ensaios na sala com parede.

5.1.1.1. Normas aplicadas

Este ensaio acústico na sala ampla respeitou o Decreto-Lei n.º 9/2007, de 17 de Janeiro, a Norma EN ISO 3382-2 – Acústica – Medição de parâmetros de acústica de salas, e o Regulamento dos Requisitos Acústicos dos Edifícios (RRAE).

5.1.1.2. Objetivos

Os objetivos deste estudo acústico numa sala sem parede, passam por determinar índices acústicos de acordo com a norma ISO 3382 e com recurso ao software DIRAC Room Acoustic (leitura de resultados).

Neste conjunto de índices incluem-se os seguintes parâmetros:

- Tempo de Reverberação (TR)
- Tempo de decaimento curto (EDT)
- Tempo central (TS)
- Claridade (C50 e C80)
- Definição (D50)
- Inteligibilidade do discurso (STI)
- Intensidade relativa (Grel)

5.1.1.3. Caracterização da sala

No presente estudo foram realizados ensaios acústicos na UTAD numa sala ampla, com a utilização habitual de câmara reverberante. Acrescenta-se que o espaço possuía uma humidade de 57,1 % e uma temperatura de 24,1°C. Na Tabela 7 podemos verificar as dimensões do espaço onde será efetuado o estudo acústico.

Tabela 7: caraterização da sala

Dimensões da sala do ensaio acústico		
Área	24.74	m ²
Volume	57.27	m ³
Ocupação provável	5	Pessoas
Área de envidraçados	-	m ²

O pavimento encontra-se revestido com placas de aglomerado negro de cortiça expandida de 120 mm de espessura. As paredes e tetos encontram-se revestidos com placas de aglomerado negro de cortiça expandida 120 mm de espessura. Existem dois vãos de entrada, também revestidos com placas de cortiça de homónimas características.

Primeiramente foi feito o ensaio com a sala nas condições iniciais, sem nenhuma ocupação e a gravação dos dados foi efetuada no exterior da sala com a porta devidamente fechada. Nesta fase do ensaio foram tomadas providências para evitar interferências de sons exteriores como: fechar de portas, pessoas a andar no corredor, pessoas a descer escadas oriundas do andar superior e ruído ambiente, vindo do interior do edifício e da produção sonora de diversas máquinas presentes no mesmo.

5.1.1.4. Equipamentos utilizados

Foi necessário algum equipamento como um radiador de parede e a unidade interior do sistema de ar condicionado. A Tabela 8 apresenta a descrição de cada recurso utilizado para equipar a sala do ensaio acústico.

Tabela 8 – Equipamentos para a sala

Equipamento	Modelo	Marca	Nº série	Certificado de verificação	Nº verificação	Data Verificação
Sonómetro	SC310	Cesva	T237149	Cesva ISQ	13/00409 20919	2013 2013
Calibrador	CB006	Cesva	900247	Cesva ISQ	13/00410 20920	2013 2013
Microfone	C-130	Cesva	12171	Cesva	13/00409	2013
Pré-Amplificador	PA13	Cesva	3685	Cesva ISQ	13/00409 20919	2013 2013
Amplificador	AP601	Cesva	T236121	-	-	-
Fonte Sonora	BP 012	Cesva	-	-	-	-
Medidor temperatura e humidade	410-2	Testo	38531816	-	-	-

5.1.1.5. Metodologia

O processo experimental deste estudo exige metodologia. Assim, no que diz respeito à medição dos parâmetros, foram determinados em bandas de frequência de oitava, (norma NP EN ISO 3382-2) nas frequências de 31.5 a 8000 Hz). As combinações de fonte e microfone, e o número de decaimentos foram selecionados de acordo com o método de engenharia.

O propósito do ensaio visa uma caracterização da acústica da sala através do levantamento dos parâmetros atrás referenciados, pelo que são considerados de particular interesse, os resultados para as bandas de oitava de frequência central entre 125 Hz e 4 kHz. No caso do tempo de

reverberação, a sua determinação considera apenas os resultados para as bandas de oitavas nas frequências centrais normalizadas de 500 Hz, 1 kHz e 2 kHz para a determinação do T_r médio.

Em termos de produção do sinal sonoro necessário à medição da grandeza de interesse, foi utilizado o método do ruído interrompido para os procedimentos de medição. Conforme é exigível, o campo necessário à medição do tempo de reverberação foi garantido utilizando uma fonte sonora omnidirecional, cujo sistema de produção de sinal permite garantir um ruído, estável e de banda larga.

Efetuiu-se medição com recurso a duas posições para a fonte sonora e 3 posições para os microfones, distribuídos considerando as premissas estipuladas pela norma NP ISO 3382, e representados esquematicamente (Figura 14).

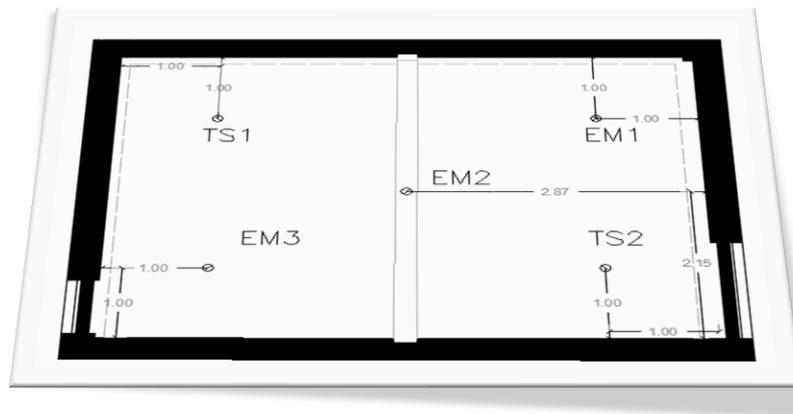


Figura 14 - Distribuição de posições para a fonte sonora (TS1 e TS2) e para o microfone (EM1, EM2, EM3)

O ensaio experimental exigiu a realização de cálculo. Assim, os valores dos parâmetros calcularam-se com recurso ao apoio do software DIRAC Acoustic room, e vão de encontro aos princípios previstos na norma NP ISO 3382. A partir dos resultados parcelares, calcularam-se médias pontuais (por posição de medida) e especiais (média das médias pontuais), no domínio da frequência.

5.1.1.6. Registo fotográfico

Na Figura 15 pode-se observar 2 registos fotográficos da sala ampla (sem parede) onde se realizaram os primeiros ensaios acústicos.



Figura 15 - Sala do ensaio acústico sem parede

5.1.2. Sala com parede

O segundo ensaio acústico foi efetuado na mesma sala do ensaio anterior, mas com uma parede a dividir a sala em 2 partes semelhantes.

5.1.2.1. Normas aplicadas

O estudo foi efetuado considerando legislação e normas em vigor, nomeadamente o D.L. n.º 9/2007, de 17 de janeiro - “Regulamento Geral sobre o Ruído” e D.L. n.º 96/2008, de 09 de junho de - “Regulamento dos Requisitos Acústicos dos Edifícios”.

As Normas respeitadas no ensaio foram as seguintes:

- NP EN ISO 140-4 Medição sonora a sons aéreos entre compartimentos;
- EN ISO 717-1 Determinação do isolamento sonoro em edifícios e de elementos de construção - Partel - Isolamento sonoro a sons de condução aérea;
- NP 3225 de 1986, nomeadamente no que se refere à área de absorção equivalente e ao tempo de reverberação.

Outro documento utilizado foi o Regulamento dos Requisitos Acústicos dos Edifícios RRAE, aprovado pelo Decreto-lei 129/2002 de 11 de maio.

5.1.2.2. Objetivos

Os objetivos do ensaio acústico na sala com divisória são, calcular os índices de isolamento sonoro a sons de condução aérea, proporcionados pela parede de blocos (divisória da sala).

Neste conjunto de índices incluem-se os seguintes:

- Isolamento sonoro a sons de condução aérea padronizado (Dnt)
- Isolamento sonoro a sons de condução aérea normalizado (Dn)
- Diferença de níveis (D)
- Índice de redução sonora aparente (R')

5.1.2.3. Caracterização da sala com parede divisória

Como se pode observar na Tabela 9, as 2 partes da sala divida apresentam aproximadamente a mesma área.

Tabela 9 – Dimensões dos 2 compartimentos da sala do ensaio acústico

Dimensões do compartimento emissor/recetor		
Área	12.01	m ²
Volume	27.35	m ³
Ocupação	0	Pessoas
Área envidraçada	0	m ²
Dimensões do compartimento recetor\emissor		
Área	12.01	m ²
Volume	27.2	m ³
Ocupação	0	Pessoas
Área envidraçada	0	m ²

Para o estudo acústico proposto, parece ser importante considerar as dimensões da parede divisória construída com blocos (BTC) – Tabela 10.

Tabela 10 – Dimensões da parede divisória

	Comp.	Alt.	M
Dimensão	4.42	2.32	m ²
Área	10.25		—
Dimensões BTC	Comp.	Lar.	Alt.
	280	140	100
			mm

O equipamento utilizado foi um radiador no compartimento emissor e vice-versa e um climatizador no compartimento recetor e vice-versa.

O controlo dos dados foi efetuado a partir do exterior da sala com a porta devidamente fechada, existindo alguma fragilidade na completa insonorização nas ligações deste elemento.

5.1.2.4. Equipamentos utilizados

A Tabela 11 que se segue apresenta os equipamentos utilizados para a medição dos índices de avaliação acústica.

Tabela 11 – Equipamentos para a medição dos índices

Equipamento	Modelo	Marca	Nº série	Certificado de verificação	Nº verificação
Sonómetro	SC310	Cesva	T237149	Cesva ISQ 2013	13/00409 20919
Calibrador	CB006	Cesva	900247	Cesva ISQ 2013	13/00410 20920
Microfone	C-130	Cesva	12171	Cesva 2013	13/00409
Pré-amplificador	PA13	Cesva	3685	Cesva ISQ 2013	13/00409 20919
Amplificador	AP601	Cesva	T236121	–	–
Fonte sonora	BP 012	Cesva	–	–	–

5.1.2.5. Metodologia

O parâmetro objeto de determinação foi a análise acústica do isolamento sonoro a sons de construção aérea de uma parede divisória, feita em blocos de terra comprimida.

A realização da medição foi feita em dois locais, um referenciado como emissor e outro como recetor (1ª medição) e vice-versa (2ª medição).

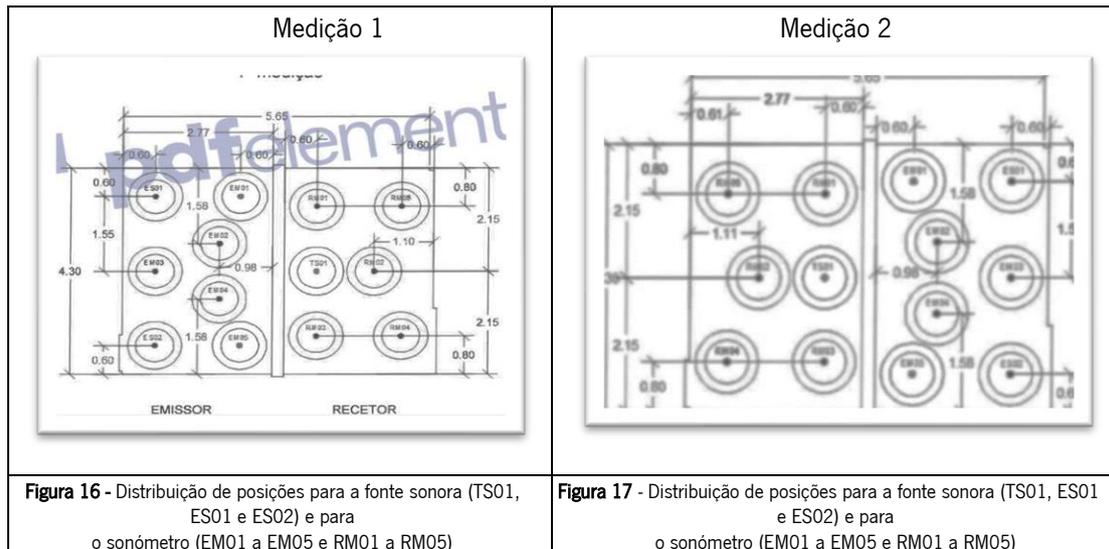
O emissor escolhido foi a sala que se encontra dentro do edifício com acesso pelo interior e o recetor, a sala que possui acesso pelo exterior (1ª medição e vice versa (2ª medição). As medições foram efetuadas em bandas 1/3 de oitava com frequências centrais entre 100 Hz e 3500 Hz.

A obtenção de valores dos parâmetros de cálculo foi efetuada com recurso ao apoio do software: Apoio à medição acústica – CVA (CESVA Measuring Assistant) e Cálculo e emissão de relatórios acústicos – CSI (CESVA Insulation studio).

Efetuarão-se as medições com recurso a várias posições sonómetro e da fonte assim descritas por ordem de execução do ensaio, como previsto nas normas:

- Cálculo do ruído de fundo com colaboração do sonómetro em 5 posições no recetor (RMO1 a RMO5)
- Calibração da fonte sonora na posição ESO1 com RMO1
- Medição do ruído na receção com a colaboração do sonómetro em 5 posições (RMO1 e RMO5) e a fonte na posição ESO1. Repetido o procedimento para a posição ESO2
- Medição do ruído na emissão com a colocação do sonómetro em 5 posições (RMO1 a RMO5) e a fonte na posição ESO2. Repetido o procedimento ESO1
- Medição do tempo de reverberação com a colocação do sonómetro em 3 posições (RMO1 a RMO3) duas medições em cada posição do sonómetro e a fonte na posição TS01

As Figuras 16 e 17 dizem respeito ao posicionamento das fontes sonoras e dos sonómetros na medição 1 e na medição 2 respetivamente. Em ambos os casos as figuras são representativas, mas próximas da realidade, podendo ter sofrido pontualmente alterações no posicionamento e no espaçamento entre aparelhos.



5.1.2.6. Registo Fotográfico

A Figura 18 pretende mostrar a panorâmica dos dois espaços - a) e b) da sala dividida por uma parede de blocos – BTC, onde se realizaram os ensaios acústicos. As medições dos índices acústicos foram realizadas na sala emissora/recetora e recetora/emissora.

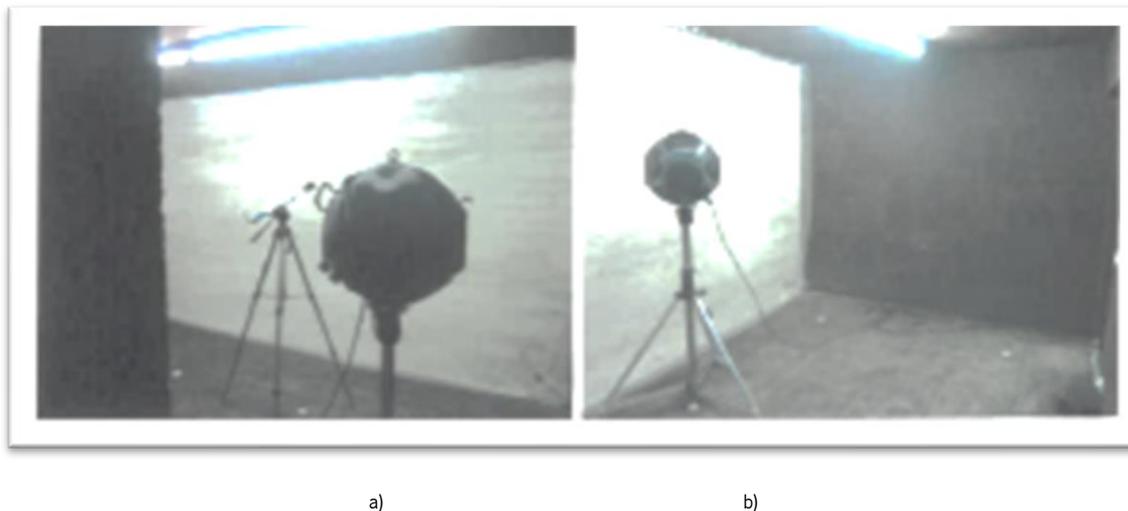


Figura 18 – Medição na sala emissora (a) e fonte sonora na sala recetora TS01 (b)

Neste ensaio acústico, os dois espaços da mesma sala, tinham ligações que permitiram que permitiram controlar os dados de medição dos índices acústicos (Figura 19).

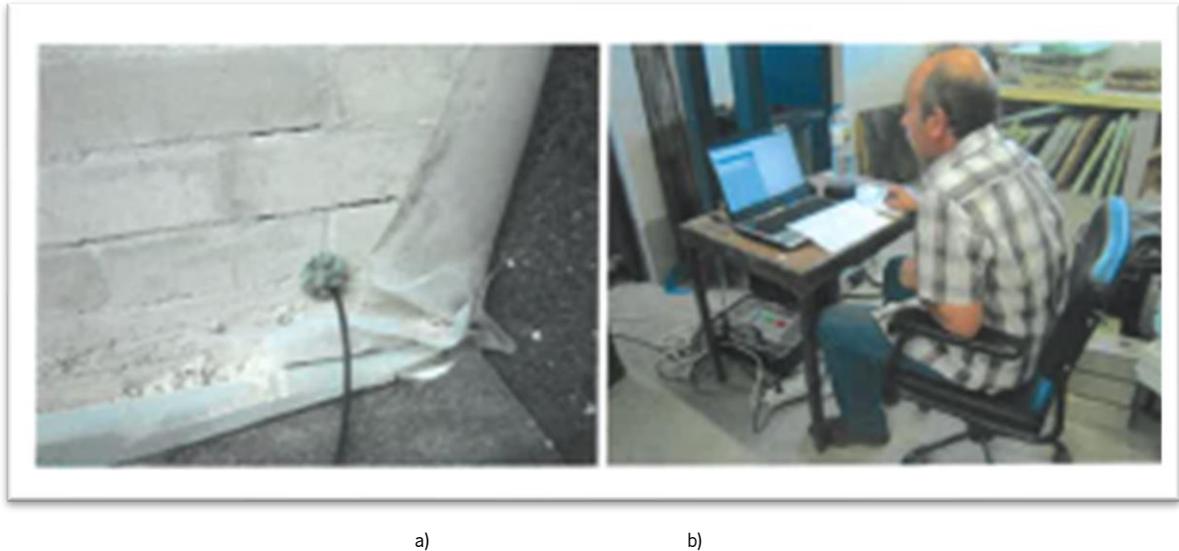


Figura 19 – (a) Pormenor das ligações entre compartimentos (b) e controle dos dados de medição.

5.2. Resultados Obtidos

Inicia-se este ponto da dissertação com a apresentação dos resultados dos ensaios acústicos na sala sem parede. Apresenta-se para cada parâmetro estudado uma tabela com todos valores relativos à 1ª e 2ª medição. Todas as tabelas são seguidas de um gráfico, com a finalidade de comparar as duas medições realizadas. Antes de apresentar os resultados (Tabelas e Gráficos) faz-se uma breve introdução sobre cada parâmetro a estudar e qual o objetivo de estudar o mesmo.

O Tempo de Reverberação (Tabela 12 e Gráfico 2) é o tempo em que o som se apresenta audível num determinado local, no caso deste ensaio na sala que em cima está caracterizada. O tipo de construção pode afetar a distribuição sonora e em muitos casos dificultar a comunicação. Para que o local apresente com boa audibilidade sonora, o referencial mais importante é o volume do meio onde as ondas se propagam.

Tabela 12 – Medições do tempo de reverberação

Tempo de reverberação (TR)											
			31,5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
TS1	EM1	Medição 1	1,229	0,724	0,221	0,303	0,154	0,147	0,194	0,176	0,177
		Medição 2	1.267	0.809	0.221	0.302	0.155	0.146	0.194	0.177	0.172
	EM2	Medição 1	0.966	0.997	0.523	0.319	0.102	0.185	0.156	0.160	0.161
		Medição 2	1.052	1.070	0.531	0.320	0.102	0.166	0.156	0.161	0.162
	EM3	Medição 1	1.080	0.812	0.590	0.355	0.125	0.175	0.181	0.173	0.177
		Medição 2	1.580	0.866	0.586	0.355	0.125	0.177	0.181	0.173	0.177
TS2	EM1	Medição 1	1.643	1.059	0.549	0.359	0.136	0.174	0.184	0.171	0.169
		Medição 2	1.345	0.853	0.550	0.357	0.136	0.173	0.187	0.170	0.169
	EM2	Medição 1	1.093	1.064	0.468	0.325	0.142	0.172	0.118	0.145	0.156
		Medição 2	0.922	0.991	0.468	0.325	0.142	0.172	0.118	0.144	0.156
	EM3	Medição 1	1.226	0.771	0.282	0.291	0.170	0.194	0.163	0.170	0.146
		Medição 2	1.961	0.844	0.283	0.290	0.170	0.192	0.164	0.171	0.141
Média			1.280	0.905	0.439	0.325	0.138	0.173	0.166	0.166	0.164
Desvio-Padrão			0.309	0.124	0.145	0.026	0.023	0.015	0.026	0.011	0.012

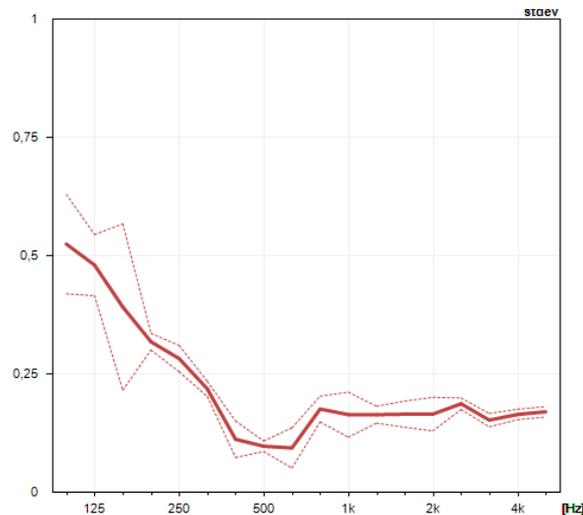


Gráfico 2 - TR por banda de oitava e respetivo desvio padrão (a tracejado)

A Tabela 13 e o Gráfico 3 apresentam os Tempos de Decaimento Curto (EDT) que é definido como o tempo inicial de decaimento correspondente ao decaimento dos primeiros 10 dB a partir do nível sonoro máximo.

Tabela 13- Medições para o tempo de decaimento curto (EDT) por banda de oitava

			Tempo de Decaimento Curto (EDT)								
			31.5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
TS1	EM1	Medição 1	1.195	0.727	0.651	0.345	0.080	0.115	0.083	0.065	0.079
		Medição 2	1.200	0.788	0.652	0.346	0.080	0.115	0.078	0.067	0.080
	EM2	Medição 1	0.868	0.905	0.412	0.350	0.173	0.109	0.138	0.135	0.143
		Medição 2	0.882	0.928	0.412	0.350	0.173	0.109	0.139	0.136	0.143
	EM3	Medição 1	0.882	0.928	0.412	0.350	0.173	0.109	0.139	0.136	0.143
		Medição 2	1.135	0.707	0.494	0.294	0.153	0.139	0.154	0.115	0.135
TS2	EM1	Medição 1	1.136	0.566	0.702	0.184	0.145	0.107	0.124	0.114	0.133
		Medição 2	1.229	0.533	0.703	0.183	0.145	0.107	0.124	0.114	0.132
	EM2	Medição 1	0.838	0.950	0.333	0.257	0.184	0.214	0.140	0.125	0.130
		Medição 2	0.756	0.910	0.332	0.257	0.184	0.214	0.140	0.125	0.130
	EM3	Medição 1	1.250	0.745	0.567	0.428	0.066	0.167	0.091	0.087	0.090
		Medição 2	1.357	0.734	0.566	0.428	0.065	0.167	0.092	0.087	0.090
Média			1.081	0,766	0.527	0.310	0.133	0.142	0.121	0.107	0.118
Desvio-Padrão			0.193	0,137	0.135	0.081	0.047	0.040	0.028	0.025	0.025

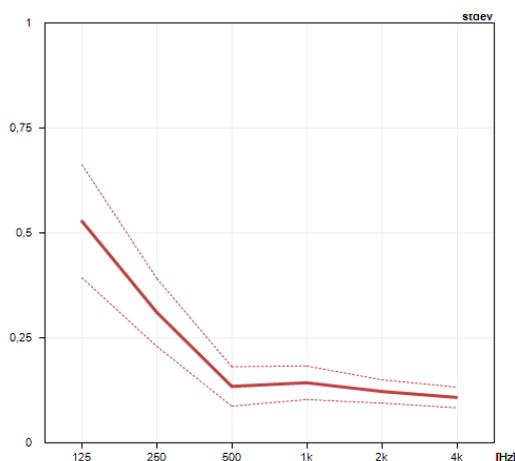


Gráfico 3 - EDT por banda de oitava e respetivo desvio padrão (a tracejado)

O Tempo Central (TS), cujos valores são apresentados na Tabela 14 e no Gráfico 4, é mais um parâmetro que permite quantificar as condições acústicas de um determinado edificado. Este parâmetro (TS) é o ponto no tempo onde a energia sonora recebida até então, representa metade da energia total recebida por um determinado recetor. Este parâmetro é medido em ms (milissegundos).

Tabela 14 - Medições para o tempo central (TS) por banda de oitava

		Tempo Central (TS)									
			31.5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
TS1	EM1	Medição1	116.7	80.1	46.7	26,8	6,2	8.4	6.2	4.3	4.9
		Medição 2	114.8	82.3	46.7	26.8	6.2	8.4	6.2	4,3	5,0
	EM2	Medição 1	53.9	83.6	51.4	26.0	7.3	9.1	9.8	6.2	6.1
		Medição 2	55.1	85.6	51.3	26.0	7.3	9.1	9.8	6.2	6.1
	EM3	Medição 1	121.2	72.4	32.0	24.3	8.0	10.9	9.1	7.7	8.5
		Medição 2	127.4	73.7	31.9	24.4	8.1	10.9	9.1	7.6	8.4
TS2	EM1	Medição 1	126.3	71.7	34.6	23.4	7.9	9.6	11.7	9.5	8.3
		Medição 2	128.3	71.6	34.6	23.4	7.9	9.6	11.7	9.5	8.3
	EM2	Medição 1	52.1	84.4	42.3	20.0	6.3	9.4	8.9	7.2	6.0
		Medição 2	50.0	81.8	42.3	20.0	6.3	9.4	8.9	7.2	6.0
	EM3	Medição 1	116.1	76.3	40.3	28.7	6.3	9.8	6.9	7.1	5.7
		Medição 2	132.4	78.0	40.3	28.7	6.3	9.8	6.9	7.1	5.7
Média			99.5	78.5	41.2	24.9	7.0	9.5	8.8	7.0	6.6
Desvio-Padrão			34.9	52	6.9	2.9	0.8	0.8	1.9	1.6	1.4

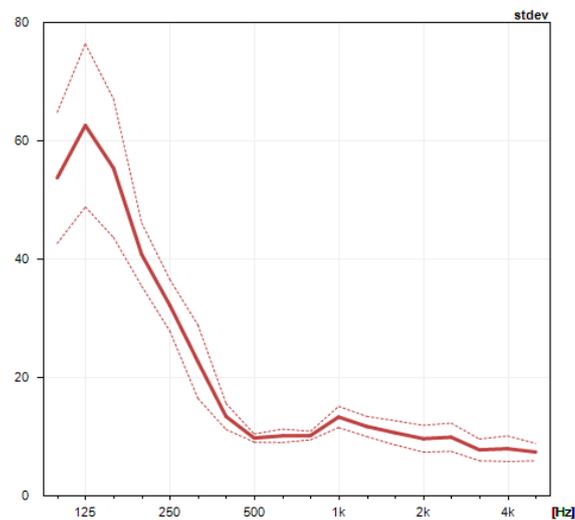


Gráfico 4 - TS por banda de oitava e respetivo desvio padrão (a tracejado).

A Clareza (C50) é um parâmetro difícil de definir e de relacionar com parâmetros físicos mensuráveis (Tabela 15 e Gráfico 5). Tem como objetivo avaliar o grau de separação entre sons sucessivos (definição horizontal segundo Beranek) e de certa forma avalia a capacidade de distinção entre tons sobrepostos (definição vertical segundo Beranek). Por exemplo, o tempo de

reverberação influencia a clareza da sala, no entanto a grandeza utilizada regularmente para avaliar o grau de Clareza é a razão entre a energia contida no "early sound" e a energia do campo reverberante, denominada por clareza, neste caso representado por C50 por se tratar de palavras. Na Tabela 15 e no Gráfico 5 são apresentados os valores da Clareza (C50).

Tabela 15 - Medições para a Clareza (C50) por banda de oitava

Clareza (C50)											
			31.5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
	EM1	Medição 1	-0.74	0.59	1.38	9.03	18.92	20.60	19.62	23,46	23,38
		Medição 2	-0.56	0.41	1.37	9.00	18.90	20.62	19.64	23,48	23,41
	EM2	Medição 1	0.50	0.92	4.01	8.68	23.42	21.57	21.92	22,74	23,03
		Medição 2	0,45	0,79	4,01	8,67	23,29	21,58	21,91	22,69	22,99
	EM3	Medição 1	-4,69	0,87	7,41	9,78	17,79	18,52	19,83	22,19	21,34
		Medição 2	-4,96	0,75	7,44	9,77	17,77	18,53	19,75	22,20	21,52
TS2	EM1	Medição 1	-5.07	1.14	6.18	11.99	15.28	20.43	17.35	19.23	19.80
		Medição 2	-5.21	1.21	6.16	12.00	15.32	20.45	17.35	19.32	19.82
	EM2	Medição 1	0.51	0.58	6.73	10.77	23.94	21.49	23.67	23.74	23.10
		Medição 2	0.63	0.76	6.75	10.77	23.93	21.49	23.66	23.78	23.14
	EM3	Medição 1	-0.81	1.51	2.93	8.03	20.82	20.32	20.58	22.20	23.89
		Medição 2	-0.65	1.31	2.94	8.04	20.83	20.31	20.53	22.23	24.04
Média			-1.72	0.91	4.78	9.71	20.02	20.49	20.48	22.27	22.46
Desvio-Padrão			2.47	0.33	2.27	1.40	3.18	1.05	2.05	1.53	1.47

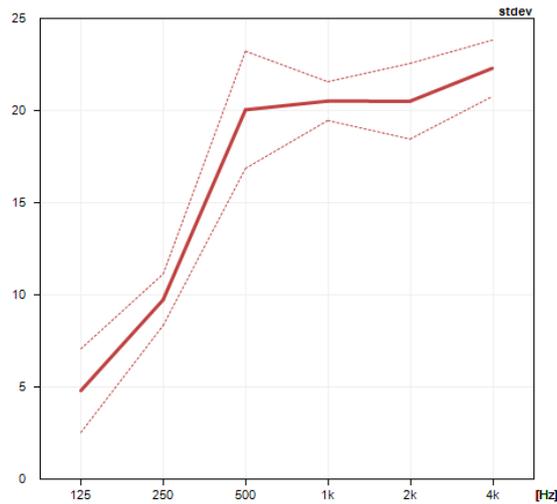


Gráfico 5 – C50 por banda de oitava e respetivo desvio padrão (a tracejado)

A Tabela 16 e o Gráfico 6 referem-se igualmente ao parâmetro da Clareza mas neste caso representado por C80 por se tratar de música.

Tabela 16 - Medições para a Clareza (C80) por banda de oitava

			Clareza (C80)								
			31.5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
TS1	EM1	Medição 1	1.94	4.34	6.74	12.52	29.73	29.89	30.61	33.51	32.40
		Medição 2	2.43	4.15	6.74	12.51	29.84	29.98	30.53	33.37	32.39
	EM2	Medição 1	3.86	2.65	10.70	19.59	31.22	30.65	30.94	32.65	31.90
		Medição 2	3.73	2.53	10.73	19.56	30.98	30.67	30.90	32.53	31.77
	EM3	Medição 1	3.08	7.37	10.33	15.84	21.21	27.04	27.71	29.67	29.64
		Medição 2	2.84	7.09	10.36	15.84	21.04	27.01	27.80	29.56	29.70
TS2	EM1	Medição 1	4.11	7.94	8.79	14.04	22.73	30.82	27.39	30.89	31.59
		Medição 2	3.61	7.71	8.78	14.05	22.80	30.87	27.39	30.95	31.43
	EM2	Medição 1	4.47	2.40	13.86	17.37	30.11	29.30	29.91	35.34	33.02
		Medição 2	4.63	2.57	13.87	17.39	30.19	29.34	29.94	35.41	33.10
	EM3	Medição 1	2.71	4.23	9.07	11.61	29.01	27.95	32.22	32.05	33.37
		Medição 2	2.46	4.09	9.09	11.63	28.99	27.88	32.20	32.04	33.06
Média			3.32	4.76	9.92	15.16	27.32	29.28	29.80	32.33	31.95
Desvio-Padrão			0.87	2.18	2.28	2.88	4.05	1.46	1.79	1.91	1.24

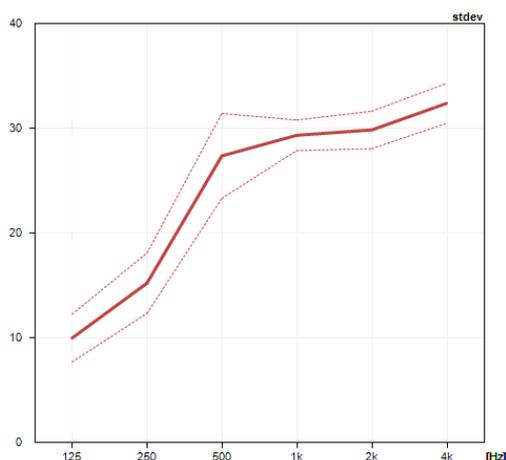


Gráfico 6 – C80 por banda de oitava e respetivo desvio padrão (a tracejado).

A Definição do Som é determinada através da relação entre a energia registada nos primeiros 50 milissegundos (som direto e primeiras reflexões) e a energia total. Este valor é expresso em percentagem (ou eventualmente numa escala de 0 a 1 como representado na Tabela 17) e quanto maior for, melhor será a inteligibilidade da palavra na sala. Assim sendo e de um modo geral, este valor deverá ser superior a 50 % para ser aceitável.

Tabela 17 - Medições para a Definição (D50) por banda de oitava

			Definição (D50)								
			31,5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
TS1	EM1	Medição1	0.46	0.53	0.58	0.89	0.99	0.99	0.99	1.00	1.00
		Medição2	0.47	0.52	0.58	0.89	0.99	0.99	0.99	1.00	1.00
	EM2	Medição1	0.53	0.55	0.72	0.88	1.00	0.99	0.99	0.99	1.00
		Medição2	0.53	0.55	0.72	0.88	1.00	0.99	0.99	0.99	0.99
	EM3	Medição1	0.25	0.55	0.85	0.90	0.98	0.99	0.99	0.99	0.99
		Medição2	0.24	0.54	0.85	0.90	0.98	0.99	0.99	0.99	0.99
TS2	EM1	Medição1	0.24	0.57	0.81	0.94	0.97	0.99	0.98	0.99	0.99
		Medição2	0.23	0.57	0.81	0.94	0.97	0.99	0.98	0.99	0.99
	EM2	Medição1	0.53	0.53	0.82	0.92	1.00	0.99	1.00	1.00	1.00
		Medição2	0.54	0.54	0.83	0.92	1.00	0.99	1.00	1.00	1.00
	EM3	Medição1	0.45	0.59	0.66	0.86	0.99	0.99	0.99	0.99	1.00
		Medição2	0.46	0.57	0.66	0.86	0.99	0.99	0.99	0.99	1.00
Média			0.41	0.55	0.74	0.90	0.99	0.99	0.99	0.99	0.99
Desvio-Padrão			0.13	0.02	0.10	0.03	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00

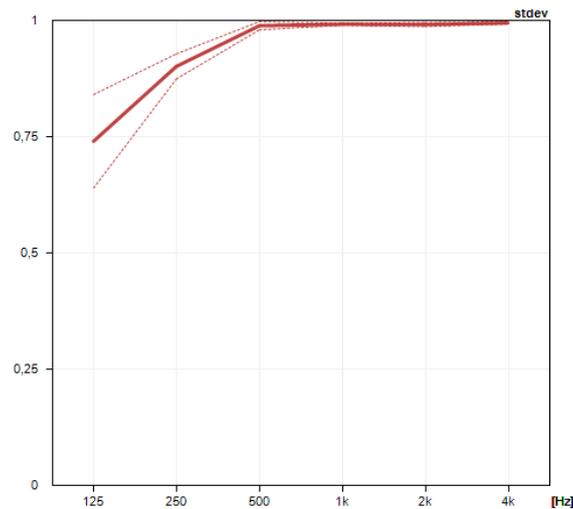


Gráfico 7 - D50 por banda de oitava e respetivo desvio padrão (a tracejado)

O Speech Transmission Index (STI) ou índice de transmissão de sala como se designa em Português é uma medida da qualidade da transmissão da fala. A medida absoluta de inteligibilidade da fala é uma ciência complexa. O STI mede algumas características físicas de um canal de transmissão (uma sala no caso deste estudo) e expressa a capacidade do canal de transmitir as características de um sinal de fala. A Tabela 18 apresenta os valores da medição da inteligibilidade. O software DIRAC Room Acoustic calculou o STI considerando a produção de discurso por voz masculino e feminina. Importa neste sentido referir que o STI se traduz num valor único, cuja interpretação depende de um quadro definido pela IEC 60268-16, apresentado de seguida: Os resultados obtidos nas medições efetuadas no espaço atribuem um STI de 0.94 para a produção discursiva e respetiva inteligibilidade no caso de vozes femininas e 0.93 na mesma situação para o caso de vozes masculinas. Este valor traduz um espaço com excelente qualidade para produção discursiva em qualquer uma das situações.

Tabela 18 - Avaliação da Inteligibilidade do discurso segundo STI [86]

Speech Transmission Index (STI)	
Valores	Qualidade de Discurso
0.00 – 0.30	Má
0.30 - 0.45	Pobre
0.45 - 0.60	Razoável
0.60 - 0.75	Bom
0.75 - 1.00	Excelente

A Intensidade Sonora é o fluxo por unidade de área, refere-se ao produto da pressão pela velocidade das partículas em um meio fluido. o que é equivalente à potência por unidade de área.

Assim, a Tabela 19 e o gráfico 8. apresentam os valores da intensidade sonora relativa medida neste estudo.

Tabela 19 - Medições para a Intensidade relativa (Grel) por banda de oitava

			Intensidade Relativa (Grel)									
			31.5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	
TS1	EM1	Medição 1	-246.82	-245.06	-231.74	-227.83	-234.37	-233.05	-228.99	-229.30	-233.08	
		Medição 2	-247.11	-245.33	-231.74	-227.85	-234.38	-233.08	-229.03	-229.35	-233.20	
	EM2	Medição 1	-262.23	-247.78	-234.05	-232.70	-234.60	-232.61	-232.25	-231.02	-233.33	
		Medição 2	-262.17	-247.75	-234.04	-232.71	-234.61	-232.1	-232.25	-231.01	-233.29	
	EM3	Medição 1	-247.92	-245.00	-229.97	-229.32	-238.15	-236.19	-236.46	-234.20	-237.22	
		Medição 2	-247.95	-245.17	-229.99	-229.33	-238.19	-236.21	-236.48	-234.20	-237.16	
TS2	EM1	Medição 1	-247.49	-244.97	-230.16	-227.27	-238.36	-233.93	-236.60	-235.68	-237.73	
		Medição 2	-247,60	-245,19	-230,16	-227,28	-238,36	-233,92	-236,58	-235,66	-237,72	
	EM2	Medição 1	-261,57	-247,88	-233,59	-232,32	-235,30	-233,46	-231,92	-230,35	-233,35	
		Medição 2	-261,47	-247,90	-233,59	-232,33	-235,31	-233,47	-231,91	-230,34	-233,3	
	EM3	Medição 1	-247.07	-245.77	-230.88	-228.76	-233.61	-232.62	-231.72	-231.43	-232.88	
		Medição 2	-247.05	-245.67	-230.89	-228.77	-233.60	-232.63	-231.71	-231.41	-232.89	
	Média			-252.20	-246.12	-231.73	-229.70	-235.74	-233.65	-232.99	-232.00	-234.60
	Desvio-Padrão			7.14	1.28	1.65	2.19	1.94	1.29	2.84	2.31	2.12

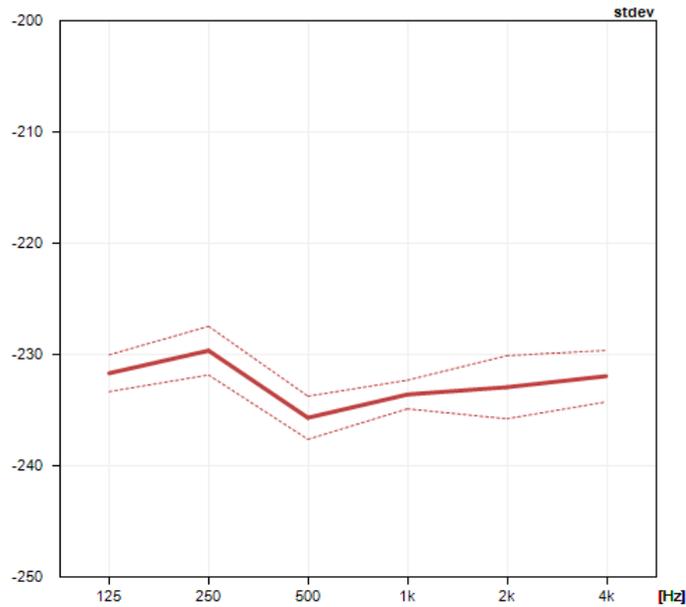


Gráfico 8 - Grel por banda de oitava e respetivo desvio padrão (a tracejado)

Apresentados os resultados obtidos nos ensaios na sala sem parede, seguem os da sala com parede.

Nesta fase os parâmetros a avaliar são três. o isolamento sonoro, as diferenças de níveis e o índice de redução aparente e em todos os casos, são apresentados dois gráficos referentes à 1ª e 2ª medição.

O isolamento sonoro é definido pela capacidade de um material em bloquear o som ou o ruído entre diferentes ambientes. Ou seja, isola o barulho, deixando ruídos do lado de fora do ambiente isolado, o que provoca conforto e melhor qualidade de vida. Este isolamento pode ser feito com o exterior através de portas, janelas ou algum sistema de isolamento acústico (por exemplo o sistema ETICS) ou pode ser considerado entre diferentes compartimentos no interior da construção e ser feito com alvenaria em tijolo cozido, bloco de cimento ou BTC apresentado nos Gráficos 9 e 10 que se seguem, para uma área padronizada, com 1ª e 2ªa medição respetivamente, e nos Gráficos 11 e 12 para uma área normalizada, com 1ª e 2ª medição respetivamente.

Os valores que são apresentados nos Gráficos 9 a 16 dizem respeito aos parâmetros que se pretende calcular, parâmetros esses que são o índice de isolamento sonoro a sons de condução aérea, $D_{nT,w}$, e o Índice de redução sonora, R_w . Estes valores são obtidos através da ordenada da curva de referência descrita na secção 4.3 da ISO 717-1 para a frequência de 500 Hz,

determinado segundo o procedimento indicado na mesma secção. Os resultados das medições são guardados na memória do sonómetro, transferidos para o computador e tratados de modo a que se possa passar ao cálculo do $D_{nT,w}$ e do R_w . Para que parâmetro $D_{nT,w}$ seja calculado, é necessário, antes, calcular o Índice de isolamento sonoro a sons de condução aérea, padronizado, D_{nT} . Esse valor é calculado através da diferença entre o nível médio de pressão sonora medido no compartimento emissor (L_1) produzido por uma ou mais fontes sonoras, e o nível médio de pressão sonora medido no compartimento recetor (L_2), corrigido da influência das condições de reverberação do compartimento recetor, segundo a expressão:

$$D_{n,T} = L_1 - L_2 + 10 \log \frac{T}{T_0} \text{ dB}$$

O L_1 é o nível médio de pressão sonora medido no compartimento emissor; o L_2 é o nível médio de pressão sonora medido no compartimento recetor, o T é o tempo de reverberação do compartimento recetor, em segundos e o T_0 é o tempo de referência, em segundos. O parâmetro T_0 corresponde ao tempo de reverberação de referência, em segundos: para compartimentos de habitação ou com dimensões comparáveis, o caso em estudo, $T_0 = 0,5s$; para compartimentos em que haja tempo de reverberação atribuível em projeto, o valor de referência a considerar será o do respetivo tempo de dimensionamento.

Depois de calculado o isolamento sonoro a sons de condução aérea padronizada, passou-se ao cálculo o índice de isolamento sonoro a sons de condução aérea, $D_{nT,w}$. Com base nos valores do isolamento sonoro a sons de condução aérea padronizado ($D_{n,T}$), para cada frequência central das bandas de 1/3 de oitava compreendidas entre os 100 Hz e os 3150 Hz, determina-se o valor de $D_{nT,w}$ através da comparação da curva de referência com a curva de valores medidos. A comparação entre as duas curvas é realizada com variações de 1 dB e considera-se satisfeita quando o somatório dos desvios desfavoráveis é o mais elevado possível, mas menor ou igual a 32 dB. Considera-se que o desvio desfavorável numa dada frequência corresponde ao valor da diferença entre as duas curvas quando a curva de valores medidos se situa abaixo da curva de referência.

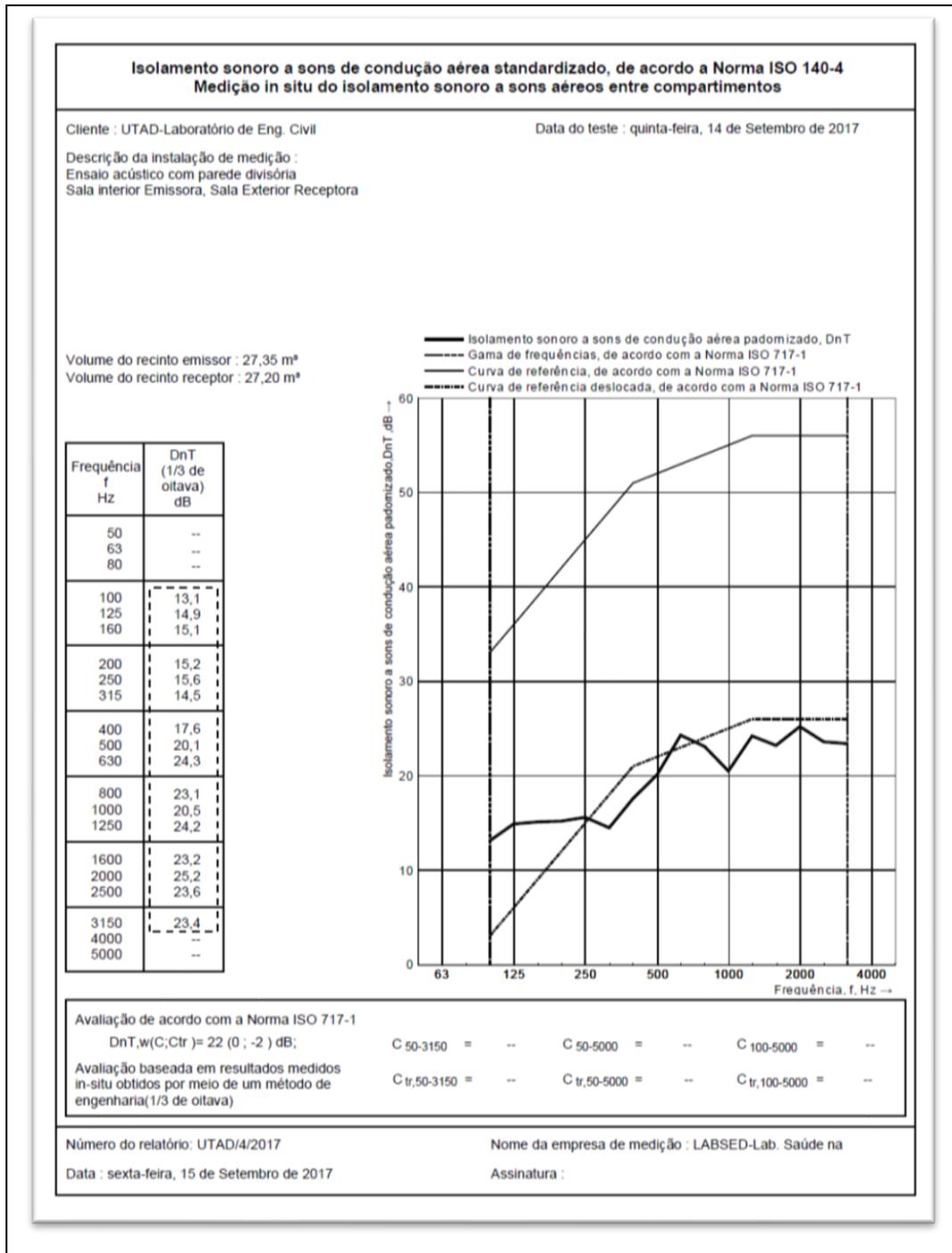


Gráfico 9 – Isolamento sonoro a sons de condução aérea padronizada -1ª Medição

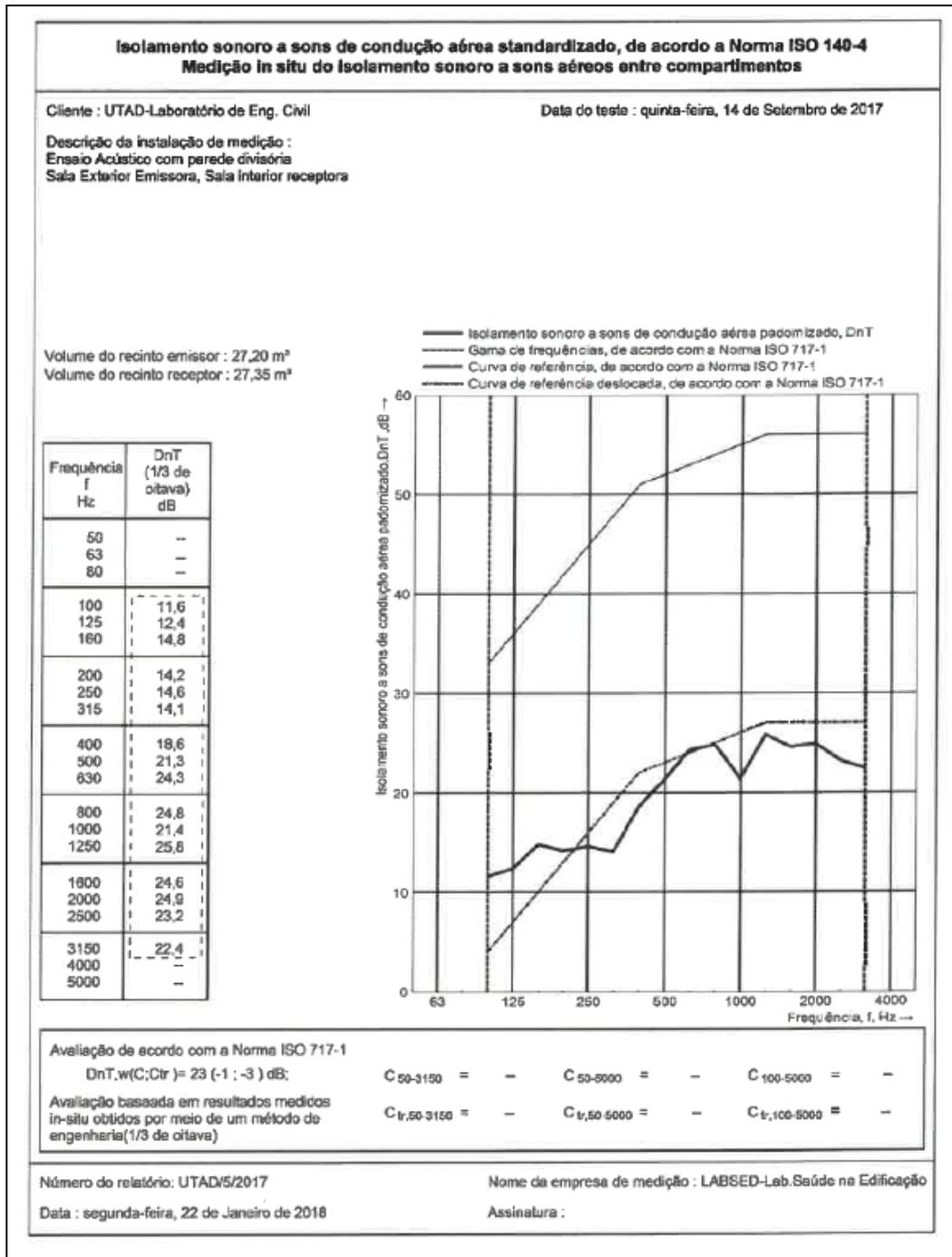


Gráfico 10 – Isolamento sonoro a sons de condução aérea padronizada - 2ª medição

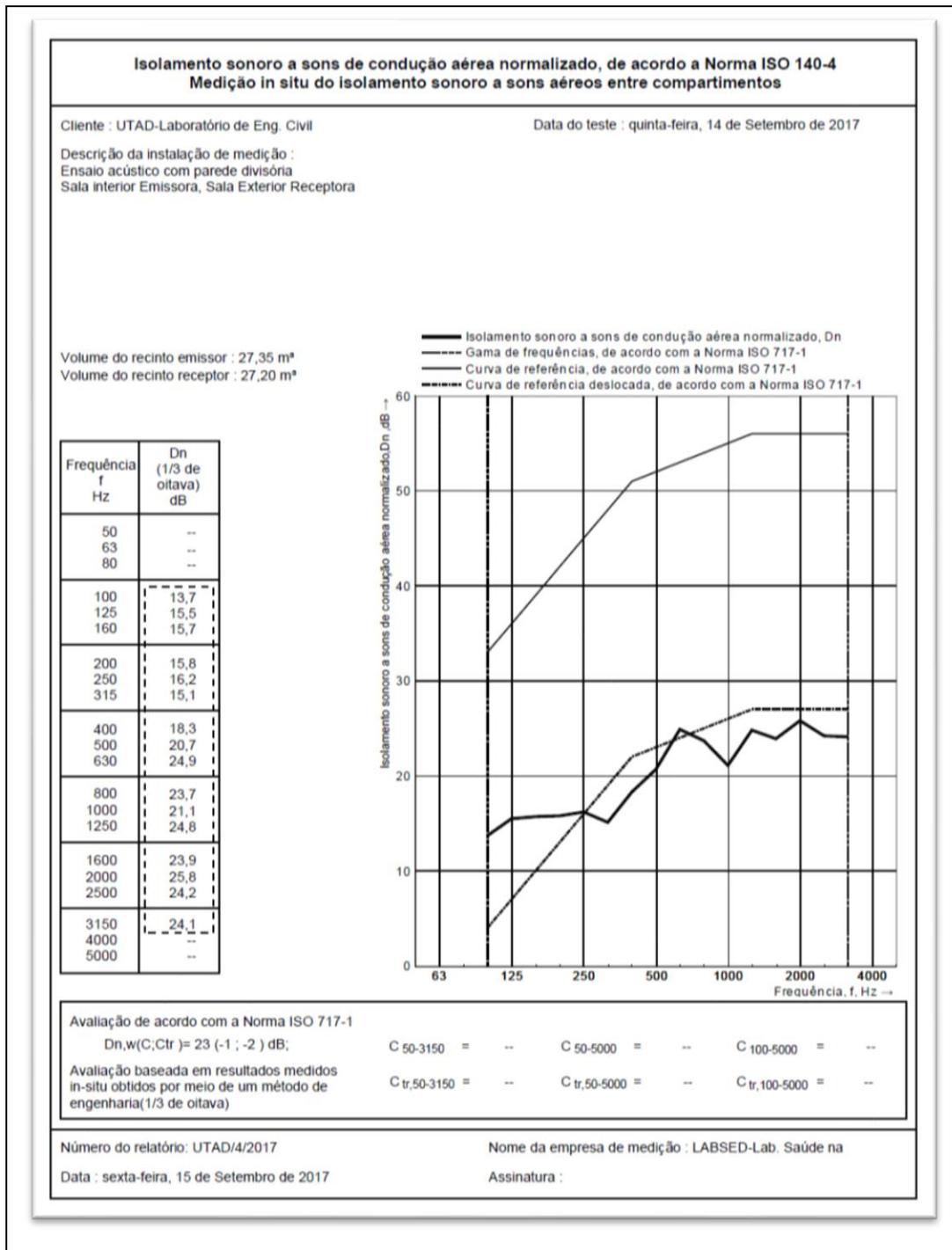


Gráfico 11 – Isolamento sonoro a sons de condução área normalizada – 1ª medição

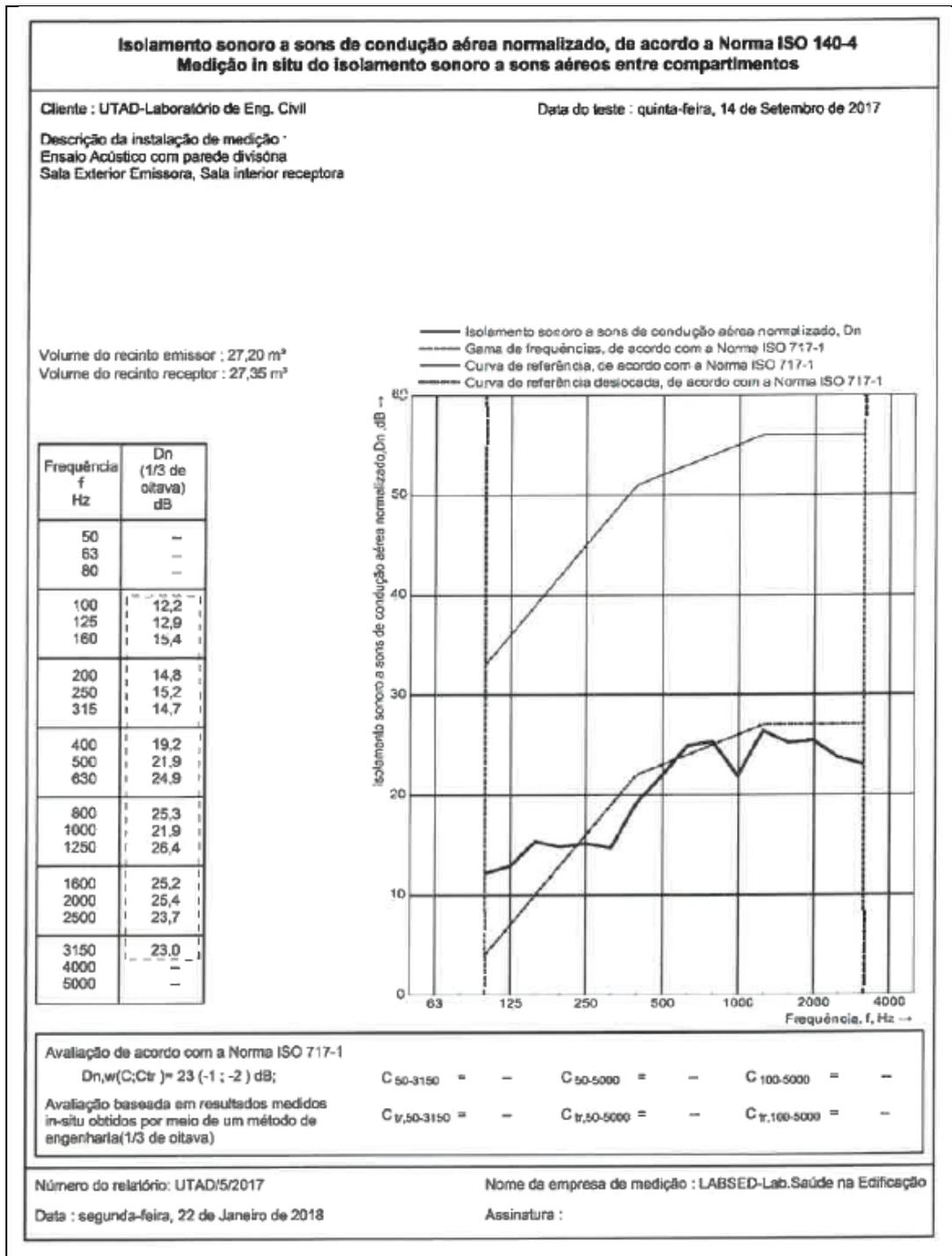


Gráfico 12 – Isolamento sonoro a sons de condução aérea normalizada – 2ª medição

O nível do ruído de fundo deve ser medido com o intuito de se assegurar que as medições realizadas no compartimento recetor não são influenciadas por ruídos exteriores ao compartimento

de ensaio, bem como os ruídos elétricos do sistema de captação de sinal ou as interferências elétricas entre os sistemas emissor e recetor. A medição do ruído de fundo é efetuada em apenas uma amostragem com a duração de 5 minutos. O nível do ruído de fundo (L_b) deve estar, no mínimo 6 dB (de preferência 10 dB) abaixo do nível do sinal e do ruído de fundo combinados (L_2). Nos casos em que a diferença de níveis $L_2 - L_b$ seja inferiores a 10 dB deve-se calcular o valor de L_2 corrigido de acordo com a Tabela 20 (Simões 2015).

Tabela 20 - Correção do ruído de fundo

Situação	L_2 a considerar (dB)
$L_2 - L_b \geq 10$ dB	$L_{2 \text{ corrigido}} = L_2$ dB
$6 \text{ dB} \leq L_2 - L_b < 10$ dB	$L_{2 \text{ corrigido}} = 10 \text{ Log} (10^{L_2/10} - 10^{L_b/10})$ dB
$L_2 - L_b < 6$ dB	$L_{2 \text{ corrigido}} = L_{2 \text{ medido}} - 1.3$ dB

A intensidade do som é a característica que nos permite definir um som como forte ou fraco. Fisicamente, este parâmetro é definido como a potência sonora recebida por unidade de área de uma superfície. Neste caso estudou-se as diferenças medidas entre níveis de intensidade, como está presente no Gráfico 13 e 14 para a 1ª e 2ª medição, respetivamente.

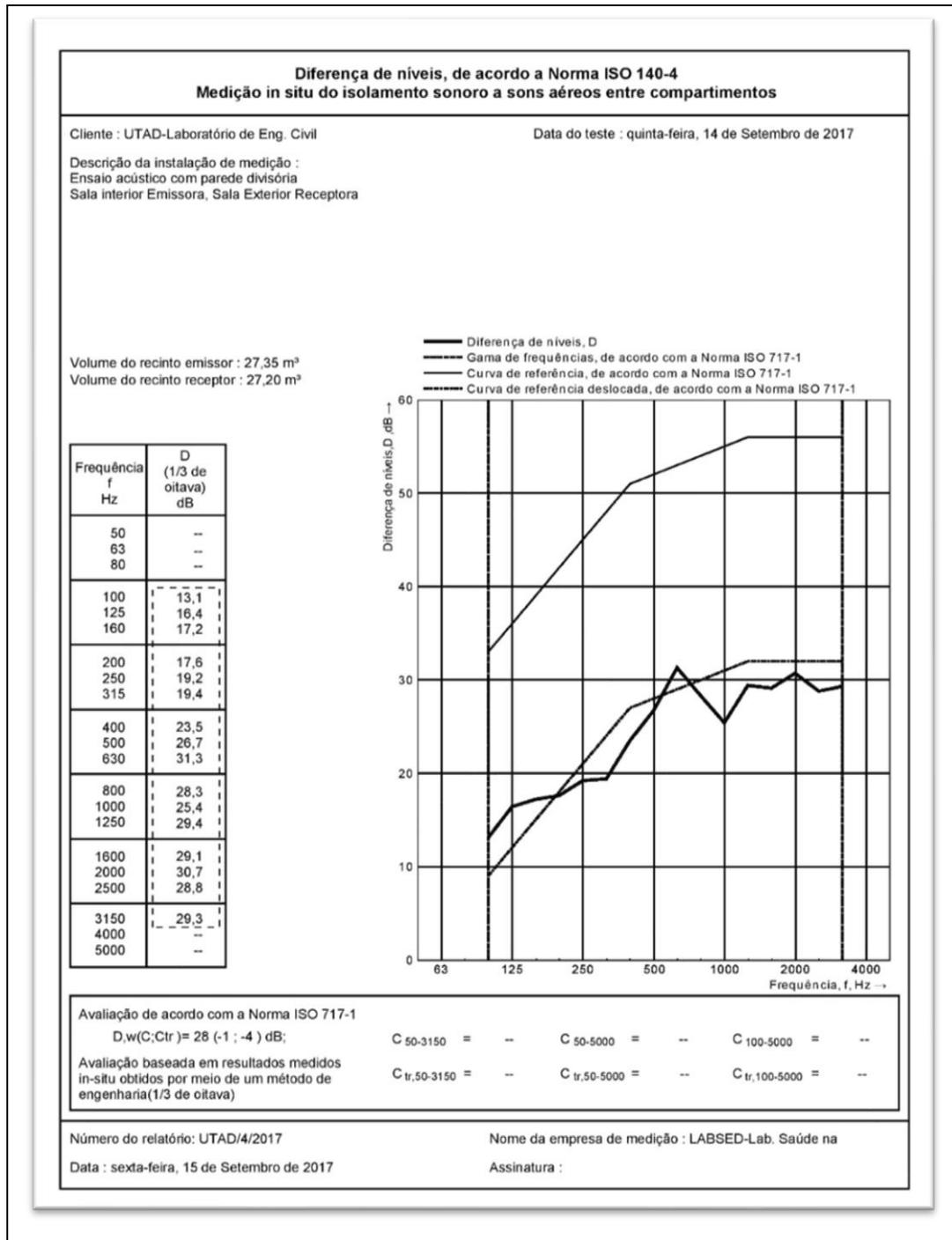


Gráfico 13 - Diferença de níveis - 1ª medição

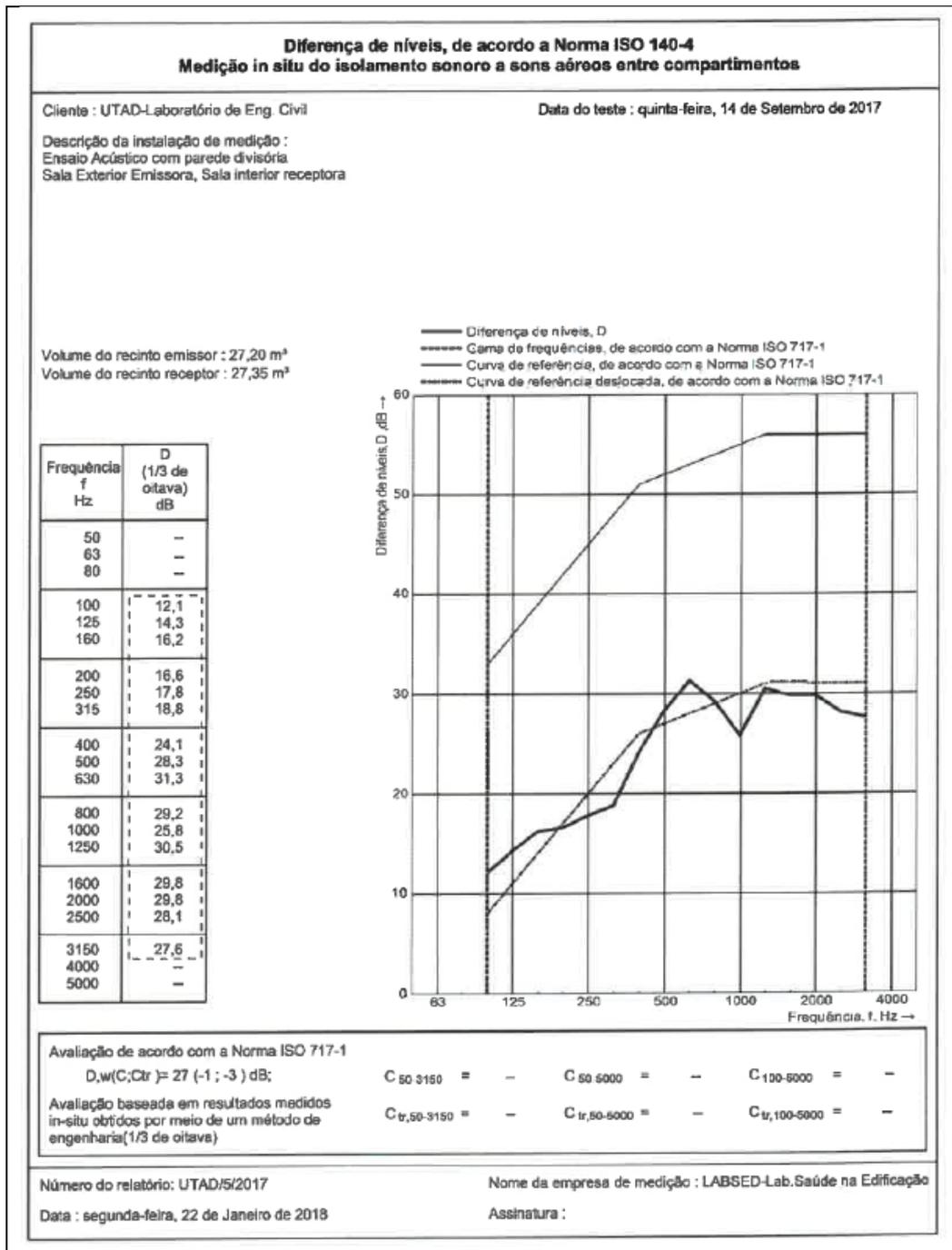


Gráfico 14 – Diferença de níveis - 2ª medição

O índice de redução sonora aparente representa a razão logarítmica entre a potência sonora incidente na divisão submetida à medição e a potência sonora presente no ambiente receptor, transmitida diretamente. Para o cálculo do parâmetro R_w , é necessário antes calcular o índice de redução sonora aparente, R , segundo a expressão:

$$R = D_{n,T} - 10 * \log \left(\frac{0.16 * V}{0.5 * A} \right)$$

O $D_{n,T}$ corresponde ao Índice de isolamento sonoro a sons de condução aérea, padronizado; o V ao volume do compartimento recetor e o A à área do elemento construtivo. Após o cálculo do índice de redução sonora aparente, R , procedeu-se ao cálculo do R_w , da mesma forma que o cálculo do valor de $D_{nT,w}$, através da comparação da curva de referência com a curva de valores calculados de R .

Os valores registados neste indicie estão no Gráfico 15 e 16, para 1ª e 2ª medição, respetivamente.

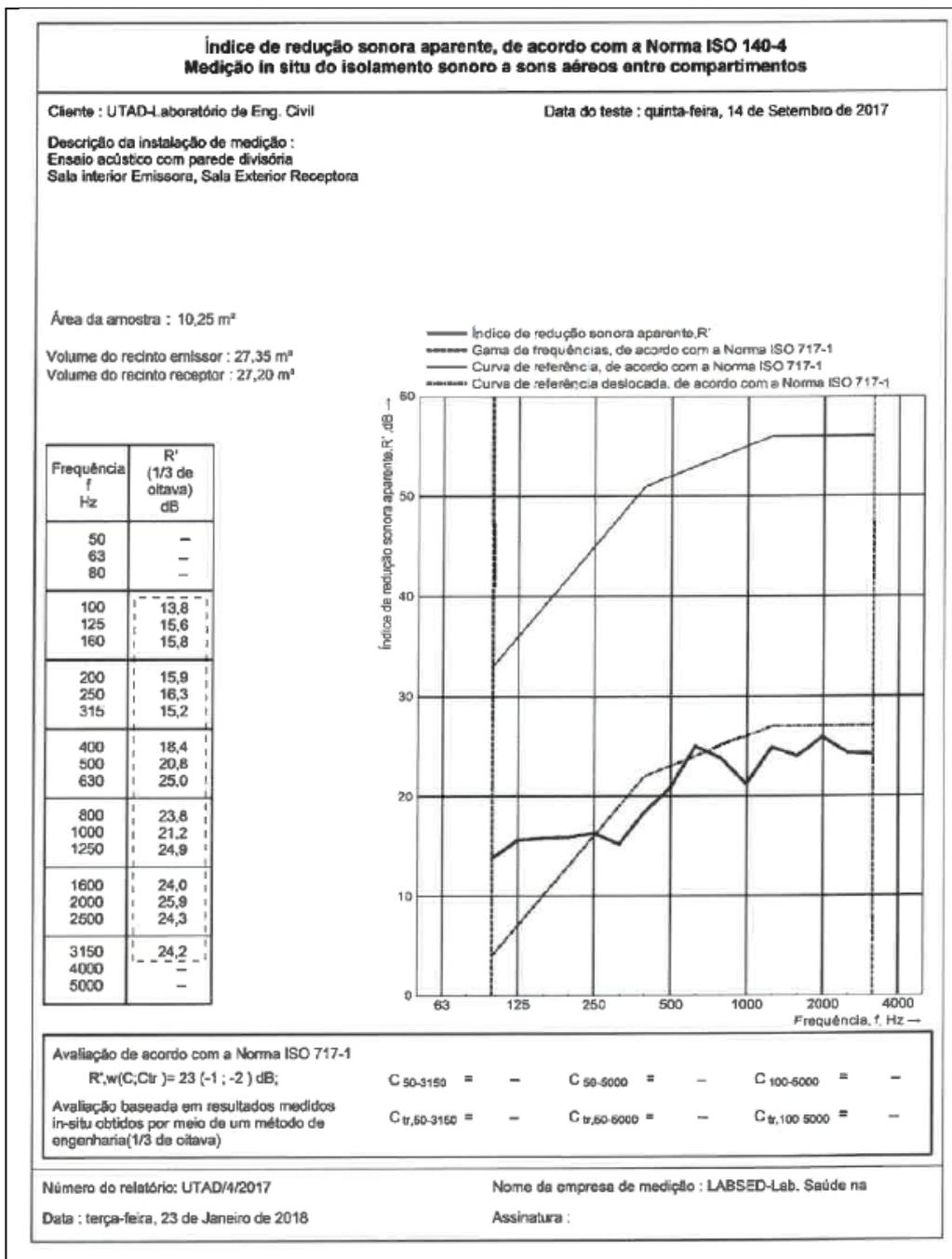


Gráfico 15 – Índice de redução sonora aparente - 1ª medição

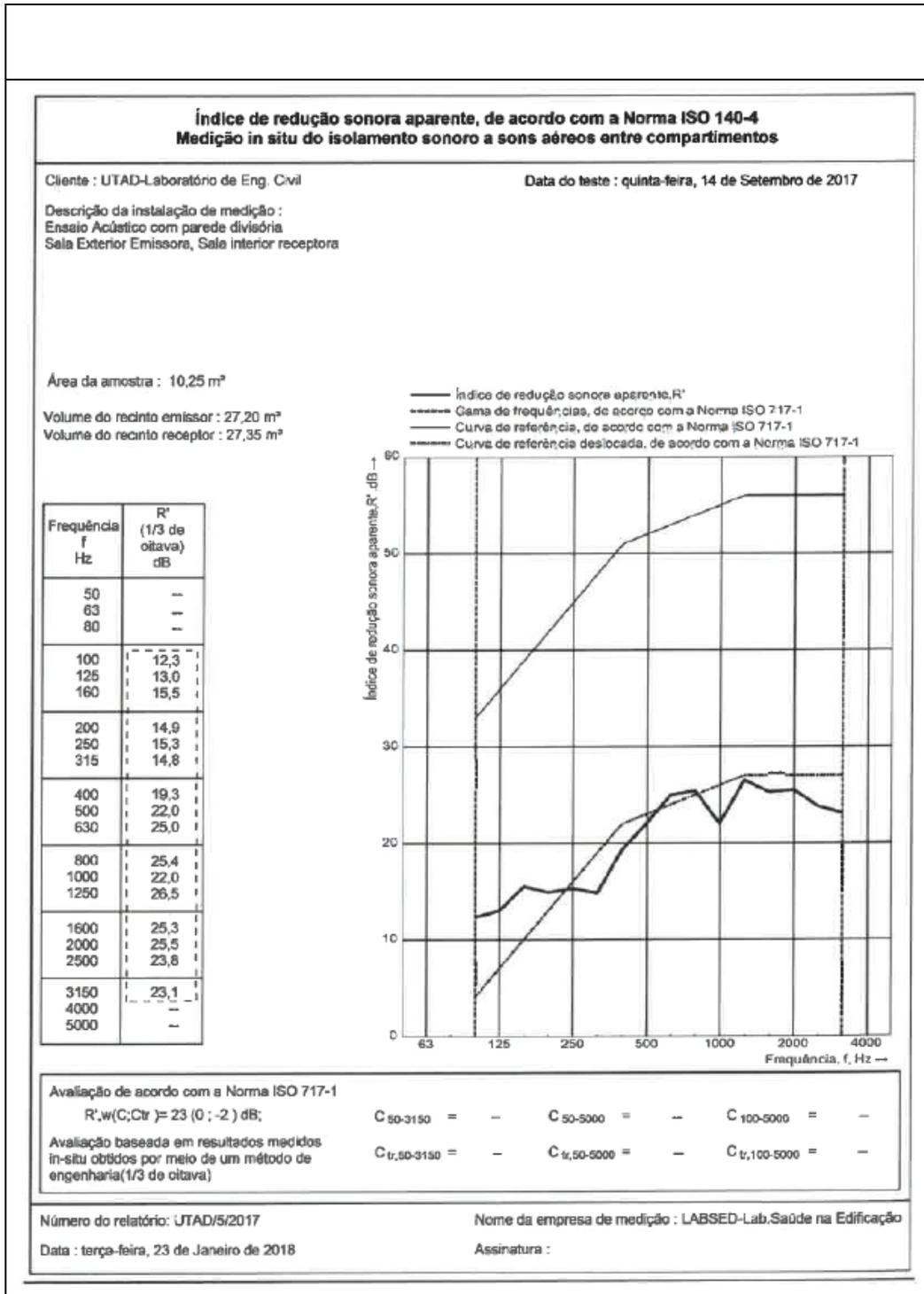


Gráfico 16 – Índice de redução sonora aparente 2ª medição

A Tabela 21, os valores obtidos nos ensaios realizados, para a frequência de 500 Hz, relativos aos parâmetros estudados.

Tabela 21- Resultados obtidos em cada item estudado

	Isolamento Dn		Isolamento DnT		Diferença de níveis D		Índice de redução sonoro aparente R'	
	1 ^a	2 ^a	1 ^a	2 ^a	1 ^a	2 ^a	1 ^a	2 ^a
Frequência 500Hz	20.1 dB	21.3 dB	20.7 dB	21.9 dB	26.7 dB	28.3 dB	20.8 dB	22.0 dB
	Isolamento Dn,w		Isolamento DnT,w		Diferença de níveis D,w		Índice de redução sonoro aparente R',w	
	1 ^a	2 ^a	1 ^a	2 ^a	1 ^a	2 ^a	1 ^a	2 ^a
Valores Referência	22 dB	23 dB	23 dB	23 dB	26 dB	27 dB	23 dB	23 dB

5.3. Análise de Resultados

Nos ensaios da sala sem parede concluiu-se que, o tempo de reverberação é de 0,16 segundos, possuindo a sala valores superiores para o Tr em frequências mais baixas (125-2500 Hz) e reduzindo consideravelmente a médias e altas frequências. Este resultado advém da escolha para revestimento da sala, nomeadamente o uso de aglomerado de cortiça expandida, que efetivamente possui um coeficiente de absorção sonora mais elevado a médias e altas frequências, em especial na banda dos 500 Hz. Este facto remete ainda para a perceptibilidade do som na sala, obtida com recurso ao Ts, e onde se pode concluir que efetivamente, o som adquire significativa perceptibilidade a partir das médias frequências. Os valores obtidos para Grel são relativamente baixos, o que remete para uma fraca capacidade do espaço na amplificação do som. Este fator traduz-se igualmente em resultado ao recurso do revestimento anteriormente referido, mas também à geometria da própria sala. No que respeita ao tempo de decaimento curto (EDT), verifica-se proximidade aos valores do TR, pelo que o campo sonoro na sala é difuso. Os parâmetros C50 e C80 permitem intuir o desempenho do espaço na sua utilização para a música cantada (C50) e instrumental (C80). Neste sentido, verifica-se a adequação da mesma para a produção de discurso musical na sua vertente cantada. Os valores de C80, se fossem obtidos numa sala de maiores dimensões (que não é efetivamente o caso) traduziriam uma vocação para teatro (valores superiores a 6dB).

A clareza da palavra é reforçada pela obtenção de valores como o D50 e o STI, que adquirem dimensões próximas a 1, traduzindo numa excelente compreensão de discurso neste espaço.

Passando aos ensaios de isolamento a sons de condução aérea, na sala com parede, não é possível indicar o cumprimento de qualquer valor mínimo regulamentar exigido no D.L. n.º 96/2008 de 9 de junho que estabelece os limites regulamentares para o valor de $D_{nT,w}$, os quais diferem conforme o tipo e a atividade e da aplicação pretendida. Segue a Tabela 22 com os requisitos acústicos exigidos em edifícios habitacionais e mistos e unidades hoteleiras.

Tabela 22- artigo 5.º do D. L:n.º 96 2008 de 9 de junho

Referencia	Local de aplicação	Mínimo regulamentar		
1b)	Entre compartimentos de um fogo, como locais emissores e quartos ou zonas de estar de outro fogo, como locais recetores	2. $D_{nT,w} \geq 50$ dB		
1c)	Entre locais de circulação comum do edifício, como locais emissores e quartos ou zonas de estar dos fogos com locais recetores	3. $D_{nT,w} \geq 48$ dB 4. $D_{nT,w} \geq 40$ dB se a circulação comum for caminho vertical e existir elevador 5. $D_{nT,w} \geq 50$ dB se a circulação comum for garagem de estacionamento automóvel		
1d)	Entre locais do edifício destinados a comércio, indústria, serviços ou diversão, como locais emissores, e quartos ou zonas de estar dos fogos como locais recetores	$D_{nT,w} \geq 58$ dB		
5	Nas avaliações «in situ» destinadas a verificar o cumprimento dos requisitos poderão considerar-se:	+3dB para $D_{nT,w}$		
1b)	Entre locais do edifício, receção e emissão	Salas de aula, de professores, administrativas, ...(*)	Bibliotecas e gabinetes médicos	Salas polivalentes e berçários
	Salas de aula, de professores, administrativas, ...	$D_{nT,w} \geq 45$ dB	$D_{nT,w} \geq 45$ dB	$D_{nT,w} \geq 45$ dB
	Salas de aula musical, salas polivalentes, refeitórios, ginásios e oficinas	$D_{nT,w} \geq 55$ dB	$D_{nT,w} \geq 58$ dB	$D_{nT,w} \geq 50$ dB
	Berçários	$D_{nT,w} \geq 53$ dB	$D_{nT,w} \geq 55$ dB	$D_{nT,w} \geq 48$ dB
	Corredores de grande circulação (**)	$D_{nT,w} \geq 30$ dB	$D_{nT,w} \geq 35$ dB	$D_{nT,w} \geq 30$ dB

(*) Incluindo salas de aula musical, (**) Considerando que haverá porta de comunicação com os locais recetores. Se tal não for o caso os indicadores serão acrescidos de 15 dB.

Sempre que seja solicitado o enquadramento legal dos resultados obtidos nas medições «in situ», considera-se que $D_{nT,w}$ (ou $D_{n,w}$) satisfaz o limite regulamentar, quando, acrescido do fator de correção $l=3$ dB, é igual ou superior ao limite previsto no regulamento dos requisitos acústicos dos edifícios, para o tipo de locais em causa.

Neste capítulo, como se mostra nesta análise, o BTC, com esta geometria e mistura, não cumpre os requisitos mínimos legais para poder ser utilizado para o efeito. A título de exemplo e usando o “índice de redução sonora aparente” tem-se para uma frequência de 500 Hz 20.8 dB na 1ª medição e 22.0 dB na 2ª medição. Usando como comparação o tradicional tijolo cerâmico de 11 cm cozido que tem como índice de redução sonora aparente 40 dB (Simões 2015), conclui-se que o BTC está longe dos valores pretendidos. No entanto, é de salientar, que parede que foi objeto neste estudo não possui nenhum tipo de acabamento como normalmente acontece nas paredes de tijolo tradicional, que são rebocadas. Não é possível afirmar que o reboco iria elevar os valores obtidos para os patamares legais aceitáveis, mas iria certamente aumentá-los como acontece na tradicional parede em tijolo. Esta parede, tratando-se de uma parede interior, iria ser rebocada dos dois lados, o que, mesmo não sendo um facto consumado, pode ser certamente ser objeto de um estudo futuro.

6. CONCLUSÃO

6.1. Estudo desenvolvido

Em termos ambientais era sabido que o BTC é uma mais-valia, visto que, apresenta na sua composição uma grande quantidade de solo (terra). No entanto, era necessário comprovar, através de ensaios, que o BTC era de facto viável em diferentes contextos. Este estudo pretendeu também perceber e otimizar o processo de fabrico dos BTC, permitindo um aumento da produtividade através da redução das perdas. Foi também objetivo deste estudo otimizar ambientalmente a mistura através da redução das quantidades de cimento e cal.

Com este trabalho foi possível contribuir para a caracterização funcional do BTC, nomeadamente:

- Fazer a caracterização acústica de uma parede sem qualquer revestimento;
- Obter o desempenho na presença do fogo do BTC.

Após uma análise cuidada em ambos os casos, o desempenho acústico e na presença do fogo, os resultados são bem distintos. Ao nível dos ensaios acústicos, o BTC com a mistura e também a geometria do bloco (massa reduzida), os valores distanciam-se dos definidos nos requisitos legais mínimos. Apesar destes resultados obtidos, é importante salientar que a parede em questão não foi rebocada e a parede de tijolo tradicional leva posteriormente um acabamento.

Quanto aos ensaios do BTC na presença ao fogo, os resultados foram mais satisfatórios, uma vez que foi conseguido a escolha da melhor mistura, e ponderados os fatores ambientais. Após análise cuidada dos resultados, pode-se concluir que o BTC com a mistura M2 está em condições de ser usado para o efeito pretendido.

6.2. Trabalhos futuros

Seria pertinente avaliar qual o resultado obtido, caso a parede estivesse rebocada dos dois lados, visto que os valores de referência que temos para os mínimos legais, são valores referentes a paredes contruídas e rebocadas. Neste caso, e como usamos BTC na construção da parede, seria oportuna uma solução de reboco feito com uma mistura de constituintes semelhantes à base, o que iria certamente melhorar os resultados obtidos neste estudo. Caso o resultado não fosse o esperado poderia experimentar-se com uma solução de reboco tradicional.

Mantendo os critérios de desempenho acústico e resistência ao fogo, bem como a preocupação na diminuição da pegada ecológica, sugere-se a título de exemplo, o Replast e a argila. Estes dois materiais pesquisados seriam comparados aos ensaios realizados neste estudo com os BTC.

O Replast foi criado por uma startup americana, a Byfusion. O tijolo Replast, é produzido a partir da compressão dos restos de plástico em blocos modulares. Por serem moldados em várias formas e encaixes diferentes, não é necessário utilizar cola, adesivos ou qualquer tipo de argamassa para garantir a fixação dos tijolos. Uma das vantagens da produção destes tijolos é que o processo de fabricação não emite CO₂, não é tóxico e os resíduos plásticos usados como matéria-prima são retirados dos oceanos (Nadine, 2017). Assim, aferidas as vantagens ambientais parece pertinente investigar o comportamento destes blocos ao desempenho acústico e na presença do fogo.

A argila, o outro material pesquisado, parece ser igualmente interessante testar, pois é apresentado como um material já usado na construção sustentável (Nadine, 2017). Existe uma argamassa feita com argila que substitui o cimento na mistura da argamassa e pode ser usada em paredes internas para assentar os acabamentos. A argamassa de argila ainda impede o aumento excessivo de humidade nos ambientes, podendo ser aplicada especificamente como material isolante (Nadine, 2017). Seria então interessante testar também este material no domínio da resposta acústica e à presença do fogo.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Adam, E., e Agib, A. (2001). Compressed Stabilised Earth Block Manufacture in Sudan. Printed by Graphoprint for the United Nations Educational Scientific and Cultural Organization. Paris, France: Graphoprint. Retrieved from

Adam, E. A.; & Agib, A. R. A. (2001). Compressed stabilized earth block manufacture in Sudan. France, Paris: Printed by Graphoprint for UNESCO.

Araújo, Márcio Augusto, (2016). Instituto para o Desenvolvimento da Habitação Ecológica

Arumala La, Gondal e Bennett (2004). Imagens

Braga, A.; & Rocheta, V. (2008). A construção em terra e a sustentabilidade

Carvalho, Manuel Augusto Barbosa, (2015). Desenvolvimento e validação de uma solução construtiva em BTC.

Domingues, Rui Manuel Veloso, (2015). Avaliação do potencial económico de implementação da construção em BTC.

Jorge, F. Fernandes, M.; & Correia, M., (2015). Arquitectura de Terra em Portugal. 1ª Edição, Lisboa, Argumentum ISBN 972-8479-36-0.

Simões, Liliana Sofia da Silva, (2015). Comportamento acústico de blocos de terra compactada ativados alcalinamente, tese de mestrado, UM

Murta, A.; Varum, H.; Pinto, J.; Bentes, I.; Paiva, A.; & Ramos, L., (2010). Benefícios económicos e ambientais inerentes ao uso de materiais estruturais naturais em habitações unifamiliares, 7 – 22.

NP EN ISO 140 – 4 Medições do isolamento sonoro de edifícios e de elementos de construção. Parte 4: Medição in situ do isolamento sonoro a sons aéreos entre compartimentos.

Nadine Alves, 2017, <https://constructapp.io/pt/materiais-sustentaveis-construcao-civil/>,2017

NP EN ISO 354:2007 – Acústica. Medição da absorção sonora em câmara reverberante (ISO 354:2004).

Relatório sobre a ação da UE para a sustentabilidade de 2017

Relatório sobre a ação da UE para a sustentabilidade de 2019

Soares, E., (2013). Melhoria do solo residual granítico com recurso à activação alcalina

Torgal, F. P., Eires, R., e Jalali, S. (2009). Construção em terra. Guimarães: Publidisa.

Torgal, F., e Jalali, S. (2010). A sustentabilidade dos materiais de construção, 2(2), 1–14.

Webgrafia

(1) http://www.cimporportugal.pt/cache/binImagens/Manual_da_Construcao_CIMPOR-44.pdf - 2015

(2) <http://arquitecturasdeterra.blogspot.pt/2008/10/textoa-construo-com-terra-emportugal>

(3) https://www.researchgate.net/figure/Plasticity-properties-envelope-by-Houben-and-Guillaud-2008_fig3_258221351

(4) <https://pt.slideshare.net/SamanthaOrui/arquitetura-de-terra>