



## Pré-Fabricação de Barreiras Acústicas

**LUIS FILIPE PINTO REBELO**

outubro de 2021



## **PRÉ-FABRICAÇÃO DE BARREIRAS ACÚSTICAS**

LUÍS FILIPE PINTO REBELO

Dissertação submetida para satisfação parcial dos requisitos do grau de

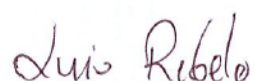
**MESTRE EM ENGENHARIA CIVIL – RAMO DE GESTÃO DA CONSTRUÇÃO**

Orientadora: Maria do Rosário Santos Oliveira

**OUTUBRO DE 2021**

Eu, Luís Filipe Pinto Rebelo, estudante nº 1160434, do Mestrado em Engenharia Civil do Instituto Superior de Engenharia do Porto, declaro que não fiz plágio nem auto-plágio, pelo que o trabalho intitulado “Pré-Fabricação de Barreiras Acústicas” é original e da minha autoria, não tendo sido usado previamente para qualquer outro fim. Mais declaro que todas as fontes usadas estão citadas, no texto e na bibliografia final, segundo as regras de referência adotadas na instituição.

Porto e ISEP, 2021/10/03

A handwritten signature in dark ink, reading "Luís Rebelo". The signature is written in a cursive style with a clear, legible font.

# ÍNDICE GERAL

Índice Geral .....	iii
Resumo.....	v
Abstract .....	vii
Agradecimentos .....	ix
Índice de Texto .....	xi
Índice de Figuras.....	xv
CAPÍTULO 1    Introdução.....	1
CAPÍTULO 2    Pré-Fabricação em betão armado .....	6
CAPÍTULO 3    Barreiras Acústicas.....	24
CAPÍTULO 4    Empreitada: Conceção/ Construção das Barreiras Acústicas a executar no sublanço de Autoestrada    38	
CAPÍTULO 5    Análise comparativa entre barreiras acústicas.....	74
CAPÍTULO 6    Conclusão e desenvolvimentos futuros.....	96
Referências Bibliográficas .....	101



## RESUMO

A presente dissertação tem como âmbito expor a pré-fabricação de elementos em betão na construção civil, devido à escassa informação sobre este método construtivo, o que incentivou a elaboração e desenvolvimento deste documento.

Segundo os registos históricos da humanidade, este método tem sido utilizado ao longo de gerações, sendo inicialmente utilizado pelas civilizações antigas para a construção dos seus monumentos. Com a eflorescência da era industrial a pré-fabricação foi dinamizada, resultando no aumento da qualidade dos produtos e na produção em curtos espaços temporais, de forma a responder às necessidades de procura.

Atualmente, a humanidade tem vindo a requerer produtos mais sustentáveis, económicos e eficientes, aplicando-se o mesmo na área da construção civil. Uma forma de cumprir com estes requisitos é a produção de produtos devidamente controlados em fábrica garantindo a qualidade do produto, como os pré-fabricados em betão. Serão descritos nesta dissertação os conceitos de pré-fabricação, os processos de produção, bem como os seus prós e contras.

Com o desenvolvimento exponencial da população mundial e a sua mobilidade, houve um aumento da poluição sonora. Devido ao desconforto e ao seu impacto ambiental, desenvolveram-se medidas de minimização, nomeadamente a criação de dispositivos de redução de ruído. Exemplo destes dispositivos são as barreiras acústicas, as quais permitem melhorar a qualidade de vida das populações.

Tendo em conta o aumento da poluição sonora e a pré-fabricação, o presente documento debruçou-se sobre os conceitos teóricos das barreiras acústicas. Neste sentido, será apresentado um caso de estudo, na qual se procedeu à aplicação de barreiras acústicas. Será também apresentado o processo administrativo, a produção das barreiras acústicas e a sua instalação.

Considerando a informação recolhida e explanada neste documento, foi elaborada uma análise comparativa entre as barreiras acústicas, com base nos seguintes dados: geometria, características mecânicas e acústicas, durabilidade e custo económico.

**Palavras-chave:** Pré-Fabricação, Pré-Fabricação de betão, Projeto de execução, Produção, Gestão da Qualidade, Sustentabilidade, Construção e Barreiras Acústicas.



## **ABSTRACT**

The present dissertation is motivated to present precast concrete elements used in the construction industry, due the lack of information about this construction method, what encouraged the preparation and development of this document.

According to historical data of mankind, this method has been applied for many generations and it's possible to date it as far back to the monuments attributed to the ancient civilizations. With the development of the industrial era precast construction developed, originating an increase of the quality and the reduced time needed to supply the demand.

Nowadays mankind is starting to require more efficient, sustainable and economical products, construction industry is not an exception. One of the methods to meet these requirements is to adapt the industrial methods to achieve the goals previously mentioned, guaranteeing the quality of the final product. In this dissertation we will describe precast construction concepts, production processes, as well as its pros and cons.

With the exponential development of the world population and its mobility, there was an increase of the acoustic pollution. In order to reduce its impact in the environment and the population, mitigation measures have been developed namely the development of devices for noise reduction. Examples of these devices are the acoustic barriers that allow to improve of the life quality of the population.

Considering the increase of the acoustic pollution and precast construction, this document has focused in the theoretical concepts of the acoustic barriers. This dissertation will present a case study in which acoustic barriers were applied. With the collected information it was presented a comparative analysis between different acoustic barriers using the following criteria: geometry, mechanical and acoustical characteristics, durability and cost.

**Keywords:** Prefabrication, Precast Concrete, Project Execution, Production, Quality Management, sustainability, Construction and Acoustic Barriers.



## **AGRADECIMENTOS**

Quero agradecer a todas as pessoas que me apoiaram na realização deste documento, orientando-me para o rumo mais correto de desenvolvimento da investigação, apoiando-me nos momentos mais carícos e demonstrando a preponderância necessária.

Expresso o meu sincero agradecimento a toda a minha família e amigos que me acompanharam e apoiaram neste importantíssimo período da minha vida, demonstrando compreensão, preconizando o incentivo para a finalização desta etapa.

Agradeço imenso a todas as pessoas que me acompanharam neste grande desafio e posso afirmar que sem vocês o resultado não seria o mesmo.



## ÍNDICE DE TEXTO

1.1	Considerações Iniciais.....	1
1.2	Metodologia de Investigação- Organização Documental.....	2
1.3	A Empresa.....	3
2.1	O Desenvolvimento da Pré-fabricação.....	6
2.2	Conceito de Pré-fabricação.....	9
2.2.1	Sistema da Pré-Fabricação.....	10
2.2.2	Pré-Fabricação ligeira, leve e pesada.....	12
2.2.3	Processos Industriais de pré-fabricação.....	14
2.2.4	Faseamento do Processo de Pré-fabricação (caso de estudo - Farcimar).....	16
2.2.5	Vantagens da Pré-Fabricação.....	21
2.2.6	Dificuldades da Pré-Fabricação.....	22
3.1	Conceitos teóricos.....	25
3.2	Condicionantes do desempenho.....	26
3.2.1	Meio envolvente.....	26
3.2.2	Dimensões Geométricas.....	27
3.2.3	Propriedades absorventes.....	28
3.2.4	Degradação.....	28
3.3	Caracterização das Barreiras Acústicas.....	28
3.3.1	Barreiras refletoras.....	28
3.3.2	Barreiras absorventes.....	29
3.4	Regulamentação aplicável.....	32
3.4.1	Métodos de Ensaios Laboratoriais.....	33

3.4.2	Métodos de Ensaio <i>in situ</i> .....	35
4.1	Âmbito da empreitada .....	38
4.1.1	Concurso de conceção-construção.....	38
4.1.2	Documentação fornecida pelo dono de obra .....	39
4.2	Fase de Projeto - Estudo preliminar.....	41
4.2.1	Generalidades.....	41
4.2.2	Questões técnicas exigidas / Descrição da solução proposta .....	42
4.2.3	Condicionalismos da obra.....	44
4.2.4	Avaliação da solução técnica .....	44
4.2.5	Modo de execução dos trabalhos.....	47
4.2.6	Dimensionamento estrutural .....	47
4.2.7	Peças desenhadas.....	49
4.2.8	Conclusão do processo .....	49
4.3	Fase de Projeto – Projeto de Execução.....	50
4.3.1	Trabalhos preliminares .....	51
4.3.2	Projeto de Execução .....	52
4.3.3	Condicionalismos verificados.....	53
4.3.4	Projeto de Estabilidade.....	53
4.3.5	Projeto de Manuseamento e Montagem em Obra .....	53
4.3.6	Revisão de projeto .....	54
4.4	Fabrico e Transporte .....	55
4.4.1	Fichas de produto .....	55
4.4.2	Fabrico .....	57
4.5	Construção .....	60
4.5.1	Execução dos trabalhos .....	60
4.5.2	Avaliação da eficácia.....	68
4.5.3	Receção dos trabalhos e liquidação da obra .....	71

5.1	Barreiras acústicas em análise .....	75
5.2	Características das barreiras acústicas .....	76
5.3	Características mecânicas.....	79
5.3.1	Capacidades aerodinâmicas .....	79
5.3.2	Peso próprio .....	80
5.3.3	Impacto de pedras projetadas.....	81
5.3.4	Segurança em situação de colisão.....	81
5.3.5	Capacidade dinâmica da neve .....	81
5.3.6	Segurança e ambiente .....	82
5.3.7	Resistência ao fogo.....	82
5.3.8	Risco de queda de detritos .....	83
5.3.9	Proteção ambiental .....	84
5.3.10	Reflexão da luz.....	85
5.3.11	Transparência .....	86
5.4	Características acústicas .....	86
5.5	Durabilidade.....	87
5.6	Comparação entre as barreiras acústicas.....	90
6.1	Conclusão.....	96
6.2	Desenvolvimentos Futuros .....	99



## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2-1 – Manilhas pré-fabricadas;.....	13
Figura 2-2 – Painéis de revestimento de fachadas;.....	13
Figura 2-3 – Viga pré-fabricada, aplicação de pré-esforço em pré-tensão;.....	14
Figura 2-4- Produção de Anéis pré-fabricados através de dispositivo mecânico deslizante; .....	15
2Figura 2-5- Mesa fixa com vibrador acoplado;.....	15
Figura 2-6- Processo de soldadura de armaduras;.....	17
Figura 2-7- Preparação estrutural do elemento;.....	18
Figura 2-8- Cura Húmida; .....	19
Figura 2-9- Armazenamento de painéis estruturais;.....	20
Figura 3-1 – Propagação de uma onda Sonora em Barreiras Acústicas (adaptado de FHWA, 2000); .....	25
Figura 3-2 – Representação do fenómeno de difração (adaptado de Crocker, 2007).....	26
Figura 3-3 – Relação entre a frequência e absorção sonora entre Barreiras.....	29
Figura 3-4 – Painéis Metálicos (Barreto, 2004); .....	30
Figura 3-5 – Barreiras acústicas em betão poroso;.....	31
Figura 3-6 – Barreira Acústica de betão e casca de arroz; .....	32
Figura 3-7 – Quadro de classificação da absorção sonora de barreiras acústicas segundo a EN-1793-1:2012; .....	34
Figura 3-8 - Quadro de classificação de isolamento aos sons aéreos de barreiras acústicas segundo a EN-1793-2:2012; .....	34
Figura 4-1 – Características das barreiras acústicas;.....	45
Figura 4-2 – Características acústicas da barreira de betão madeira (e=23 cm); .....	47
Figura 4-3 – Tabela de condicionalismos conforme a tipologia das barreiras;.....	53

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 4-4 – Corte Longitudinal do painel; .....	55
Figura 4-5 – Pormenor da barreira em betão madeira; .....	56
Figura 4-6 – Molde de barreiras acústicas e equipamentos de auxílio; .....	57
Figura 4-7 – Placa vibratória de compactação para o betão madeira;.....	58
Figura 4-8 – Exemplo de disposição de armadura e acessórios;.....	58
Figura 4-9 – Placa vibratória de compactação para o betão estrutural; .....	59
Figura 4-10 – Acabamento da superfície e localização dos acessórios de elevação;.....	59
Figura 4-11 – Sinalização temporária; .....	62
Figura 4-12 – Desmatação manual; .....	63
Figura 4-13 – Execução de estacas com trado hidráulico; .....	64
Figura 4-14 – Aplicação de pilares pré-fabricados através de camião grua;.....	65
Figura 4-15 – Betonagem da fundação; .....	65
Figura 4-16 – Painéis acústicos;.....	66
Figura 4-17 – Janela de acesso à portilha do poste de iluminação pública; .....	67
Figura 4-18 – Aplicação de painéis acústicos com borracha tipo EPDM;.....	67
Figura 4-19- Pintura dos painéis acústicos in situ; .....	68
Figura 4-20 – Elaboração de medições antes da aplicação das barreiras acústicas, equipamento recetor – microfone; .....	69
Figura 4-21 -. Elaboração de medições após a aplicação de barreiras acústicas, equipamento recetor - microfone; .....	70
Figura 4-22 – Resultados obtidos no ensaio da barreira BA01; .....	70
Quadro 5-1 – Análise comparativa de dispositivos de redução de ruído.....	76
Figura 5-2 – Esquisso de barreira acústica em 3D;.....	77
Figura 5-3 – Quadro de classificação de queda de detritos (Anexo B, EN- 1794-2:2011);.....	84
Figura 5-4 – Quadro de classificação do brilho (Anexo E, EN- 1794-2:2011);.....	85
Figura 5-5 - Classificação da exposição ambiental, quadro A.2 segundo a norma EN 60721-3-4 (EN 14389:2015); .....	88
Figura 5-6 – Análise Preço (€/m <sup>2</sup> ) / Vendas 2010-2017 (%). .....	89

Figura 5-7 – Representação gráfica do coeficiente de absorção sonora ( $\alpha_s$ ); .....	91
Figura 5-8 - Quadro de classificação da absorção sonora de barreiras acústicas segundo a EN-1793-1:2012; .....	92
Figura 5-9 – Representação gráfica do valor normalizado do isolamento sonoro; .....	93
Figura 5-10 - Quadro de classificação de isolamento aos sons aéreos de barreiras acústicas segundo a EN-1793-2:2012; .....	94
Figura 5-11 – Gráfico de dispersão, comparação entre desempenho acústico e valor económico das barreiras acústicas; .....	95



# CAPÍTULO 1

## INTRODUÇÃO

### 1.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS

A pré-fabricação é um método construtivo que tem vindo a desenvolver-se ao longo dos anos, face à necessidade de responder à procura na área de construção. Neste sentido, o aumento da pré-fabricação originou a industrialização de produtos, o que provocou uma intensificação do volume de produção em curtos espaços de tempo, com qualidade e eficiência (Varandas, 2020).

A pré-fabricação está associada a diversos materiais como a madeira, o metal, plástico, o betão, entre outros. No presente documento será abordada a pré-fabricação em betão, pelo que se irá descrever a sua história e os conceitos de utilização na área da construção.

Dentro da área da pré-fabricação em betão, subsistem inúmeras soluções técnicas, de forma a corresponder às características arquitetónicas, de estabilidade, térmicas, acústicas, entre outras. Neste documento será abordado especialmente as barreiras acústicas em pré-fabricados em betão.

Com o desenvolvimento de infraestruturas rodoviárias houve a necessidade de desenvolver dispositivos de redução de ruído, de forma a diminuir o seu impacto ambiental sobre os meios circundantes. Neste sentido, foram desenvolvidas as barreiras acústicas, as quais permitirão reduzir os sons da circulação rodoviária ou ferroviária incidentes na sua envolvente.

Neste trabalho será apresentado o método construtivo de pré-fabricação, direcionado para a produção de barreiras acústicas, em que será descrito alguns conceitos teóricos e a sua eficácia.

Este trabalho foi desenvolvido com base em investigação científica e dados fornecidos pelo Grupo Farcimar, pelo que tive a oportunidade de desenvolver conhecimentos sobre produtos pré-fabricados, especialmente sobre barreiras acústicas.

Pretende-se com a presente dissertação obter o grau de Mestre em Engenharia Civil, na vertente de Gestão da Construção, realizada no ISEP- Instituto Politécnico do Porto.

## **1.2 METODOLOGIA DE INVESTIGAÇÃO- ORGANIZAÇÃO DOCUMENTAL**

Esta dissertação abordará os aspetos chave sobre a pré-fabricação, nomeadamente os conceitos base, a sua aplicação e sua adaptação às barreiras acústicas. Para tal, será exposto um caso de estudo de uma empreitada de conceção/ construção, a qual descreve a elaboração do estudo prévio, o projeto de execução, a adjudicação, a execução e respetiva receção. Numa fase final, foi realizada uma comparação das características mecânicas, acústicas e económicas entre barreiras acústicas pré-fabricadas.

Face ao exposto, este documento inicia-se por uma apresentação histórica da pré-fabricação e os conceitos base, pelo que serão abordados os sistemas de pré-fabricação, a sua natureza e os processos de desenvolvimento do produto pré-fabricado.

Após a descrição dos processos referidos anteriormente, é apresentado o conceito de dispositivo de redução acústica aplicável em infraestruturas, nomeadamente as barreiras acústicas. Com base em documentos científicos e legislativos são descritos os conceitos, as condicionantes do seu desempenho, os métodos e regulamentação aplicável aos ensaios de avaliação da eficácia.

De forma a desenvolver os princípios explanados anteriormente sobre as barreiras acústicas, é descrito um caso de estudo sobre uma empreitada de conceção/ execução num sublanço de uma autoestrada, no qual são aplicadas barreiras acústicas. A partir deste estudo de caso são apresentadas as seguintes fases: estudo prévio, elaboração do projeto de execução, fabrico, transporte, execução dos trabalhos e a receção definitiva dos mesmos.

Na fase final deste documento é realizada uma análise comparativa das soluções que o Grupo Farcimar dispõe para corresponder às solicitações da qualidade do ambiente sonoro. São comparadas as características mecânicas, acústicas e económicas, designadamente a sua estabilidade, a absorção acústica, o isolamento acústico aos sons aéreos e a acessibilidade da solução. Esta análise é realizada com base em resultados de ensaios e devidamente certificada pela união europeia (Regulamento (UE) n.º 305/2011) contendo a certificação CE.

Conforme descrito anteriormente, o documento é organizado sequencialmente, tendo como base documentação científica e estudos/ensaios elaborados através do Grupo Farcimar. Por fim, será apresentada uma conclusão.

No próximo subcapítulo serão descritos os seguintes pontos: a origem, os objetivos e diretrizes da empresa Farcimar e do grupo na qual esta se integra.

### 1.3 A EMPRESA

Fundada em 1989, a Farcimar- Soluções em Pré-Fabricados de Betão, S.A. é uma empresa de produção de elementos pré-fabricados em betão e de fornecimento de betão pronto. Possui uma diversidade de produtos e soluções destinados à área de construção civil, utilizados na construção de edifícios, obras hidráulicas, muros de suporte, bancadas e barreiras acústicas.

Com uma evolução marcante nos últimos anos, a Farcimar tem vindo a melhorar circunstancialmente a área dos Recursos humanos, Qualidade, Ambiente e as Tecnologias de Inovação. Tendo como objetivo oferecer soluções de pré-fabricação tecnicamente distintas e inovadoras na área de Engenharia Civil, a Farcimar tem vindo a desenvolver novos produtos com o intuito de corresponder às exigências específicas do mercado, satisfazendo qualquer necessidade dos seus clientes.

A Farcimar é uma empresa integrada no Grupo Farcimar, sendo este último constituído por outras empresas inovadoras e especializadas nas áreas dos pré-fabricados e execução de obra - Arouconstro, S.A. (dedicada à construção), FTS – Technical Solutions (destinada à área da conceção e comercialização de soluções técnicas) e a Farcimar – Imobiliária e Turismo (com investimentos no sector imobiliário e turístico).

Em 2004 a empresa foi certificada pelo Sistema de Gestão da Qualidade, segundo a Norma NP EN ISO 9001:2008, segundo a qual tem vindo a ser renovado ao longo dos anos.

Sendo a principal política de atuação da empresa, a de Qualidade, Ambiente e Segurança, a Farcimar empenha-se na implementação dos requisitos especificados nos regulamentos aplicáveis. O Sistema de Gestão Integrado (SGI) aplicado, considerando a qualidade dos produtos e serviços prestados ao cliente, promove sempre uma melhoria contínua dos variados processos.

A política empresarial assume-se como elemento estruturante de todo o Sistema de Gestão da Qualidade. A sua formulação e configuração ao Sistema de Gestão da Qualidade permite não só a sua adequação contínua, como também suporte efetivo ao estabelecimento dos objetivos da qualidade.

O Sistema de Gestão da Qualidade do Produto Final fornecido ao cliente procura garantir todos os requisitos solicitados, desde o projeto até à entrega ao cliente final. Este processo tem em conta todos os requisitos legais e regulamentares em vigor, garantindo a satisfação dos seus clientes.

A inovação também faz parte integrante deste sistema, propondo-se a introdução de melhorias contínuas ao nível dos conhecimentos técnicos, de forma a implementar-se soluções técnicas que correspondam aos requisitos dos Stakeholders.

A Farcimar aposta especialmente na melhoria e na inovação dos seus produtos, de forma a reforçar a qualidade dos serviços prestados. Executando diversos produtos dependendo das perspetivas do cliente,

## CAPÍTULO 1

uma das características relevantes desta empresa é a execução de produtos “não Standard”, a qual permite exclusividade de produto ao cliente. Esta adaptação, deveu-se ao foco na satisfação do cliente, pois, este corresponde ao objetivo dos serviços prestados pela empresa, incluindo a qualidade de produto e respetivos prazos de entrega.

Sendo a questão ambiental um tema particularmente importante na atualidade, o Sistema de Gestão Integrado promove o princípio de prevenção da poluição, procurando estimular um consumo sustentável e responsável, reduzir a produção de resíduos sobrantes e aumentar a reutilização dos materiais. Para a implementação do princípio descrito anteriormente, um dos documentos integrantes do SIG é o Plano Ambiental, o qual define as responsabilidades ambientais a ter nos variados processos de produção. O Plano Ambiental proporciona também aos colaboradores as regras ambientais a ter em conta e a responsabilidade ambiental que os acarreta.

O sistema de gestão também promove e implementa continuamente uma ação de segurança na atividade profissional, de forma a prevenir acidentes e doenças profissionais. Esta prevenção tem por base a comunicação, identificação, reavaliação e controlo dos riscos associados. Tem como principal objetivo definir todos os princípios gerais de prevenção de riscos, inerentes em todo o ciclo produtivo, promovendo a permanente qualificação de todos os seus colaboradores. Fornece também conhecimento necessários dos riscos de segurança, medidas de prevenção e proteção, garantindo a segurança de todo o meio envolvente.

A melhoria continua também faz parte integrante deste sistema, a qual permite a monitorização do desempenho dos sistemas de gestão implementados na entidade. Desta forma, torna-se possível planear, gerir e controlar, revendo os objetivos estratégicos e sustentados.

Tendo a Farcimar desempenhado as melhores práticas de gestão económico-financeiras, a empresa tem vindo a envolver os quadros das empresas em elevados padrões de competitividade, sendo reconhecida e premiada com o estatuto de PME Líder e PME de Excelência.

Sendo a marcação CE obrigatória para produtos abrangidos pela Diretiva dos Produtos de Construção, a Farcimar tem vindo a certificar diversos produtos, desde 2007. Desta forma, a Farcimar fornece aos seus clientes um produto que atende à legislação da União Europeia, cumprindo com as diretrizes de segurança, higiene e proteção ambiental. Sendo credenciados, para circular por todo o espaço económico Europeu, o que tem permitido a sua exportação para diversos países como Espanha, França, Roménia, Cabo-Verde, Moçambique, Suíça, Bélgica e Angola.

Os produtos produzidos pela empresa com a marcação CE são os seguintes:

- a) Manilhas em Massa e Armadas - EN 1916 – Tubos e acessórios de betão não armado, betão com fibras de aço e betão armado;

- b) Anéis, Cones e Caixas com Fundo de Derivação - EN 1917 – Câmaras de visita e câmaras de inspeção de betão simples, de betão com fibras de aço e de betão armado;
- c) Box – Culvert - EN 14844 – Box – Culverts (Caixas Fechadas Enterradas) pré-fabricados de Betão;
- d) Muros de Suporte - EN 15258 – Elementos de Muros de Suporte pré-fabricados de Betão;
- e) Barreiras Acústicas - EN 14388 – Dispositivos de redução do ruído de tráfego rodoviário – Especificações;
- f) Caleiras - EN 1433 – Canais de Drenagem para zona de circulação de peões e veículos;
- g) Painéis - EN 14992 - Elementos de Parede pré-fabricados de betão;
- h) Vigas e Pilares - EN 13225 – Elementos Estruturais Lineares pré-fabricados de betão;
- i) Escadas - EN 14843 - Escadas Pré-fabricadas de betão;
- j) Pontes - EN 15050 - Elementos de Pontes Pré-fabricadas de betão.

A empresa tem um amplo portfólio na prestação de serviços na área de engenharia civil, pelo que abaixo são indicados alguns destes serviços:

- Construção de edifícios industriais, residenciais e não residenciais;
- Execução de obras de arte;
- Fornecimento de mobiliário urbano;
- Barreiras acústicas;
- Painéis de revestimento e estruturais;
- Elementos aplicados a cemitérios;
- Soluções de bancadas para recintos de espetáculos;
- Muros de suporte de terras;
- Recolha e recondução de redes viárias.

## CAPÍTULO 2

### PRÉ-FABRICAÇÃO EM BETÃO ARMADO

#### 2.1 O DESENVOLVIMENTO DA PRÉ-FABRICAÇÃO

De acordo com Revel (1973) a pré-fabricação refere-se à fabricação de algum elemento antes da sua colocação em obra. Já Koncz (1975), entente a pré-fabricação como a produção de elementos em série antes da sua montagem em obra, através de equipamentos de elevação (Sousa, 2013).

O nascimento da pré-fabricação é incógnito, no entanto, a sua evolução deu-se na época da revolução industrial, devido à necessidade de corresponder ao desenvolvimento exponencial da construção de edifícios em pouco tempo. Neste seguimento foram desenvolvidas novas tecnologias de fabricação industrial, aumentando o volume de produção em curtos espaços de tempo, garantindo uma melhor qualidade do produto.

Apesar da pré-fabricação ter-se evidenciado a partir da revolução industrial, na antiguidade, já se utilizava este método construtivo. Na cultura egípcia fabricavam-se peças de grande porte em pedra, por medida, e estas eram posteriormente transportadas para o seu local definitivo (Varandas, 2020). Outra das civilizações antigas que também é caracterizada pelo desenvolvimento na sua arquitetura e construção é a civilização grega, conhecida pelos seus monumentos, tendo como base os princípios a racionalidade, a ordem a beleza e a geometria. ([https://pt.wikipedia.org/wiki/Arquitetura\\_da\\_Gr%C3%A9cia\\_Antiga](https://pt.wikipedia.org/wiki/Arquitetura_da_Gr%C3%A9cia_Antiga)). Segundo uma nova pesquisa, no “Annual of the British School at Athens”, os construtores dos primeiros templos de pedra da história grega, incluindo os templos de Ístmia e Corinto, empregavam uma máquina de elevação primitiva já em meados do século VII a.C. para a elevação dos blocos de pedra (<https://gizmodo.uol.com.br/grecia-antiga-arquitetura-pedras-guindastes/>).

De acordo com a história da humanidade, foram-se desenvolvendo várias técnicas, através de atividade artesanal e manual e com ajuda de algumas máquinas, tendo surgido a revolução industrial, entre o século XVIII e XIX, havendo uma transição dos métodos de produção artesanal para o uso de máquinas, aumentando os processos de produção. Nas palavras de Robert E. Lucas Jr., ganhador do Prêmio Nobel: "Pela primeira vez na história o padrão de vida das pessoas comuns começou a se submeter a um crescimento sustentado. Nada remotamente parecido com este comportamento económico é

mencionado por economistas clássicos, até mesmo como uma possibilidade teórica." ([https://pt.wikipedia.org/wiki/Revolu%C3%A7%C3%A3o\\_Industrial](https://pt.wikipedia.org/wiki/Revolu%C3%A7%C3%A3o_Industrial)).

Devido ao desenvolvimento dos transportes ferroviários, houve uma necessidade de se desenvolver produtos industrializados para a construção da linha-férrea, especialmente elementos metálicos com qualidade e eficiência, permitindo uma produção em grande volume e em menos tempo (Varandas, 2020).

Com o desenvolvimento de elementos metálicos pré-fabricados, iniciou-se a aplicação desses produtos noutros campos de atuação. O movimento britânico começou a desenvolver elementos metálicos na construção de edifícios e infraestruturas. Tendo sido desenvolvido ao longo do tempo a aplicação de peças fabricadas em metal na construção de edifícios de elevada complexidade, nomeadamente Frank Lloyd, arquiteto da Escola de Chicago, devido a um período complicado de destruição da cidade (Varandas, 2020).

Os Pré-Fabricados em betão surgiram como uma das soluções na área da construção, tendo sido desenvolvidos vários estudos e processos técnicos para a execução de peças pré-fabricadas em betão. No ano de 1980, François Hennebique, foi um grande impulsionador deste processo, baseando-se na associação de uma estrutura com elementos retangulares, formado por pilares, vigas e lajes retangulares. Em oposição a este sistema, surge o sistema construtivo alemão, no qual se baseia na arquitetura da laje. Estas conceções estruturais deram origem a duas correntes, o sistema Francês e Alemão (Magalhães, 2013).

Em 1981 foi executada a primeira obra viabilizada tecnicamente para a aplicação de vigas pré-fabricadas de betão armado, designada por Casino de Biarritz (Magalhães, 2013). Mais tarde, o betão armado tornou-se um material viável para a construção, atraindo a utilização deste elemento em diversos projetos nos que se aplicava pré-fabricados em betão Armado, tanto na Europa como nos Estados Unidos da América (Bergami, 2009).

No século XX, foram-se aperfeiçoando os estudos sobre a aplicação deste material, pelo que se desenvolveram novas técnicas e métodos de produção industrial. Na década de 1920, Le Corbusier destacou-se pela inovação, criando estruturas modulares destinadas à habitação, reforçando a ideia de produção de casas em massa (Varandas, 2020).

Esta ideia de produção em massa surgiu na época da primeira guerra mundial, devido à necessidade urgente de se criar novos equipamento básicos para a sociedade, de modo rápido e eficiente. Houve assim um grande impulso neste tipo de indústria, tendo sido desenvolvidas várias técnicas de aplicação de pré-fabricados.

Após a segunda guerra mundial (1945), a pré-fabricação teve como um impacto crucial na industrialização da construção, principalmente na Europa, devido à destruição dos aglomerados populacionais. Havia a necessidade de uma construção rápida e económica, sendo que a produção em série de elementos tornava-se vantajosa para o desenvolvimento rápido e eficaz do processo (Pinto, 2000).

A pré-construção em Portugal nos últimos 40 anos tem tido um papel fundamental na construção, devido ao grande desenvolvimento/ investimento imobiliário nestes países. Com a grande quantidade de projetos e prazos de execução curtos, as empresas construtoras começaram a utilizar elementos pré-fabricados na construção, originando um grande desenvolvimento na indústria da pré-fabricação, aprofundando o seu conhecimento sobre o produto e o campo de aplicação nas diversas vertentes da construção (Mondragão, 2011) “As grandes questões iniciais sobre os materiais em questão foram: as suas características e os rendimentos de fabricação e montagem englobando custos, normas e não esquecendo controlo de qualidade nas construções em causa” (Babcock & Battles, 1973 In Mondragão, 2011 p. 6).

A Indústria da pré-fabricação iniciou-se pelo desenvolvimento dos painéis de fachada, produzidos com qualidade e baixo custo. Na sua execução era possível conceber-se diversas características geométricas, garantindo as especificações térmicas, acústicas e de resistência ao fogo. Permitiam também uma rápida aplicação (Mondragão, 2011).

Em Portugal, A pré-fabricação surge com a fabricação de elementos estruturais, como asnas e vigas triangulares de secção variável, em meados dos anos 40, havendo registo da execução de pavilhões industriais totalmente em pré-fabricados nos anos seguintes, designadamente nos anos 50. Uma das dificuldades da aplicação de elementos de pré-fabricação como um sistema global, surgiram nas interligações entre as peças, no qual o comportamento suscitava alguma desconfiança (Mondragão, 2011).

Na atualidade, o elemento pré-fabricado em betão armado tem um grande âmbito de aplicação em elementos estruturais, como, pontes e viadutos. Existem diversas soluções e equipamentos de ligação dos elementos pré-fabricados de betão, sendo estes devidamente certificados e adaptáveis às necessidades requeridas para a ligação dos elementos estudados. São também aplicados em edifícios habitacionais, comerciais, administrativos e pavilhões estruturais (Mondragão, 2011).

Sendo a pré-fabricação um processo muito recente e face à necessidade de dar resposta às exigências na construção, têm-se desenvolvido diversas soluções técnicas de produção e aplicação. No momento presente já se recorre à pré-fabricação na edificação de pontes e viadutos, contudo, ainda são apontadas algumas desvantagens em relação a este processo construtivo, nomeadamente no que diz respeito à ligação entre elementos, uma vez que nem sempre é possível prever o comportamento dos mesmos (Mondragão, 2011).

## 2.2 CONCEITO DE PRÉ-FABRICAÇÃO

A Pré-Fabricação consiste num método construtivo alternativo ao tradicional, no qual os elementos arquitetónicos são produzidos com finalidades não estruturais e estruturais, num ambiente industrializado e controlado. Posteriormente, precede-se ao seu transporte e aplicação no seu local de serviço, garantindo um produto com qualidade e eficiência. Este método alternativo com execução “In Situ” torna-se numa alternativa à construção tradicional, a qual se caracteriza por longos prazos de execução, por vezes com pouca qualidade e segurança (Leite, 2015).

Há um enorme contraste entre os dois métodos construtivos. A construção tradicional consiste na execução de todas as peças estruturais integrais de um sistema no local de entrada em serviço com as devidas ligações estruturais aplicáveis, tornando-a num sistema. A pré-fabricação consiste na execução individual de todas as peças integrantes do elemento estrutural e posteriormente transportadas e aplicadas no seu local definitivo, executando as ligações estruturais necessárias entre estas e formando um sistema global.

A produção e utilização de materiais pré-fabricados permite que a obra seja mais sustentável, económica e eficiente. O gestor de projeto define os processos e etapas de construção, garantindo a execução da obra num curto espaço temporal e diminuindo o desperdício de materiais associado à atividade.

Atualmente, este método construtivo pode ser aplicado em diversas áreas da construção, de acordo com a sua complexidade. O conceito de construção por fases deve ser devidamente planeado, harmonizando a aplicação de elementos arquitetónicos e estruturais, em edifícios, infraestruturas viárias, passagens superiores e inferiores, hidráulicas, acústicas, entre outras aplicações.

A pré-Fabricação é caracterizada pela produção de elementos num ambiente controlado, garantindo as características visuais e técnicas, podendo ser executadas peças individuais, unidades e módulos. Conforme o seu âmbito de aplicação, os elementos devem ser devidamente armazenados e posteriormente transportados para o seu local de serviço. Posteriormente, procede-se à montagem e instalação dos elementos que dão forma à edificação final.

Sendo este um processo industrial, no seu fabrico têm sido aplicadas as mais recentes técnicas de controlo da qualidade do produto, garantindo as melhores práticas da produção, as quais estão de acordo com regulamentos e normas aplicáveis que pretendem a satisfação do cliente.

Os sistemas de pré-fabricação estão associados à sua função, podendo fazer parte de um sistema parcial ou a um sistema global da empreitada, conforme a sua incidência sobre as soluções adotadas pelos projetistas.

Nos subcapítulos seguintes, serão abordados os tipos de sistemas associados à pré-fabricação, a caracterização dos elementos e o controlo de qualidade associado aos pré-fabricados.

### **2.2.1 Sistema da Pré-Fabricação**

Um sistema de Pré-fabricação é a correlação de vários processos para obtenção do produto final, com base nas soluções técnicas e construtivas, planeando os trabalhos inerentes à sua conclusão, o seu conjunto forma um sistema de construção, sendo elaborado um plano descritivo de toda a operação e seus processos, desde a fabricação industrial, armazenamento, transporte e devida aplicação em obra, garantindo a conformidade e objetivo da empreitada (Machado, 2015).

Os sistemas de pré-fabricação tem como conceito básico a quantidade aplicada e a relevância destes elementos no processo construtivo da empreitada. Pode ser considerado por um sistema de pré-fabricação total ou parcial.

Um sistema de pré-fabricação total é considerado quando a empreitada consiste na aplicação do seu produto, em que são descritas todas as devidas operações a desenvolver na sua execução, mesmo que englobe outros tipos de materiais.

É considerado um sistema de pré-fabricação parcial, quando numa empreitada se prevê a aplicação de elementos numa parcela de trabalhos, interligados com outros trabalhos previstos na empreitada.

Dentro das considerações definidas anteriormente, vários autores referem-se a sistemas abertos ou fechados. Consideram um sistema aberto quando a aplicação dos pré-fabricados não é definida pelo fabricante e admite a complementação com outros materiais de construção, não havendo um planeamento definido e exclusivo, admitindo a utilização de diversos produtos de fornecedores diferentes (Leite, 2015).

Como exemplos dos diferentes conceitos de sistemas, temos as manilhas de betão pré-fabricado, valetas, lajetas, columbários, sendo que na sua aplicação não necessitam de requisitos especiais de aplicação.

Antigamente as Box-Culvert's, muros de suporte e painéis de revestimento também eram considerados como fazendo parte integrante deste sistema. Na atualidade têm sido implementados em sistemas fechados, devido à sua importante influência em empreitadas de infraestruturas e de edifícios, harmonizando a sua aplicação e garantindo uma consistência das estruturas principais (Machado, 2015).

Com o desenvolvimento das técnicas e os âmbitos de aplicação foram-se desenvolvendo sistemas fechados, produzindo-se produtos individuais que se complementam de forma a não necessitarem de outros fornecedores e aplicadores de materiais complementares. Isto melhora a qualidade de prestação de serviços e responde aos requisitos de mercado.

No sistema fechado a aplicação dos diversos elementos e interligações que formam um sistema são definidos por um único fornecedor e fabricante. A descrição dos processos construtivos a adotar, tal como, os materiais complementares a utilizar são definidos pelo fabricante.

No decorrer do que foi referido anteriormente, neste tipo de sistemas o fornecedor/ fabricante é responsável por uma relevante percentagem da empreitada global. O conjunto de elementos pré-fabricados interligados irão criar um sistema harmonioso entre as peças, aplicando-se elementos de fundações, pilares, vigas, lajes e painéis de revestimentos. Sendo elaborado o dimensionamento estrutural, o planeamento construtivo, a gestão de produção, controlo da qualidade, armazenamento, transporte e aplicação (Acker, 2002).

Na indústria de pré-fabricação há um grande número de sistemas estruturais e soluções técnicas para a construção, baseando-se em sistemas estruturais básicos, havendo a correlação entre os projetos (Acker, 2002), como:

- Estruturas em pórtico, constituídas por pilares e vigas, sendo utilizadas na construção de naves industriais, armazéns, edifícios de habitação e comercio, etc.;
- Estruturas em esqueleto, constituídas por pilares, vigas, lajes e um reduzido número de paredes de contraventamento em estruturas mais altas, sendo utilizadas em construções de escritórios, escolas, hospitais, estacionamentos, etc.;
- Estruturas em painéis estruturais, compostas por elementos de painéis verticais autoportantes e de painéis de lajes, utilizados em grande escala na construção de casas e apartamentos, hotéis, escolas, etc.;
- Estruturas para pisos, constituídas por vários tipos de elementos de laje pré-fabricados, conjuntamente aplicados de forma a criar uma estrutura de piso única, homogeneizada a nível estrutural, este tipo de estruturas é utilizado em conjunto com todos os tipos de sistemas construtivos;
- Sistemas de fachadas, constituídos por painéis maciços ou compostos por materiais complementares, como por exemplo, o betão autoclavado, betão com agregados leves, betão reforçado com fibra de vidro e composta por materiais isolantes, tendo ou não função estrutural. São utilizados em todos os tipos de soluções, de revestimento, permitindo uma liberdade artística e técnica aos Arquitetos e Engenheiros gestores do projeto;
- Sistemas de betão, constituídos por betão autoclavado, este material caracterizado pela sua baixa densidade, representa um bom comportamento térmico, resistência ao fogo e uma ótima trabalhabilidade, podendo ser aplicado em blocos, painéis de revestimento, lajes e painéis de

cobertura, o conjunto destes elementos formam um Sistema, geralmente estes elementos são utilizados em edifícios de habitação, comércio e serviços.

Todos os sistemas descritos anteriormente podem ser combinados entre si e aplicados numa mesma construção.

### **2.2.2 Pré-Fabricação ligeira, leve e pesada**

Os elementos pré-fabricados podem ser classificados como ligeiros, leves e pesados, em que a diferença entre estes está relacionada com a sua densidade volumétrica, geométrica e o âmbito de aplicação, podendo ser estrutural ou não.

O desenvolvimento dos estudos da composição do betão e de aditivos de melhoria das características e seu desempenho, contribuiu bastante para a produção de estruturas em betão armado. A produção do betão armado tem sido acompanhada pela área siderúrgica e outros componentes integrados na fabricação do produto, permitindo assim, o desenvolvimento de elementos com qualidade, eficácia e de grande durabilidade. O desenvolvimento das tecnologias industriais influenciou bastante os sistemas integrados na produção em fábrica destes elementos, como, a construção de centrais de betão, pré-fabricação de malhas de armaduras standard, aplicação de pré-esforço, materiais de melhoria das composições do betão, equipamentos de moldagem automática de elementos padronizados, desenvolvimento de óleos descofrantes, moldes de vibração energética, controle térmico, gruas de elevação, armazenamento, transporte e aplicação.

É considerada como pré-fabricação ligeira, os artefactos de betão e pequenas peças compostos por materiais ligeiros para a diminuição da sua densidade volumétrica, como por exemplo a utilização de fibras e atualmente a utilização de resíduos de produção de outros mercados. A sua fabricação decorre da utilização de betões de consistência seca, moldados em equipamentos multifuncionais, que procedem à sua compressão e vibração energética, permitindo uma desmoldagem rápida da peça. Este tipo de pré-fabricação está relacionado com a produção de componentes industrializados e de fabricação em série. Sendo caracterizado, sobretudo, pela sua facilidade de aplicação, não é necessária a utilização de equipamentos pesados na montagem dos elementos, sendo aplicada repetidamente e interligada por argamassas cimentícias formando um sistema. O seu âmbito de aplicação é muito vasto, sendo que deste tipo de elementos temos, os blocos de betão, anilhas, valetas, lancis, esteios, columbários, entre outros. Podem ser produzidos com diversas geometrias. De modo geral, são elementos não estruturais, aplicados em diversos campos da construção tradicional (Lopes & Amado, 2013).



Figura 2-1 – Manilhas pré-fabricadas;

A pré-fabricação leve está associada a soluções de aplicação de materiais de peso reduzido, geralmente não estruturais, sendo produzidos através de moldagem manual em moldes com vibrador energético acoplado. Geralmente fazem parte integrante de soluções de fachadas, elementos de cofragens perdidas, paredes divisórias, tetos falsos e perfis metálicos. A sua a operação de montagem recorre com recurso mínimo de ligação através de argamassas cimentícias (Lopes & Amado, 2013), sendo também utilizados outros meios de fixação como por exemplo pernos metálicos.

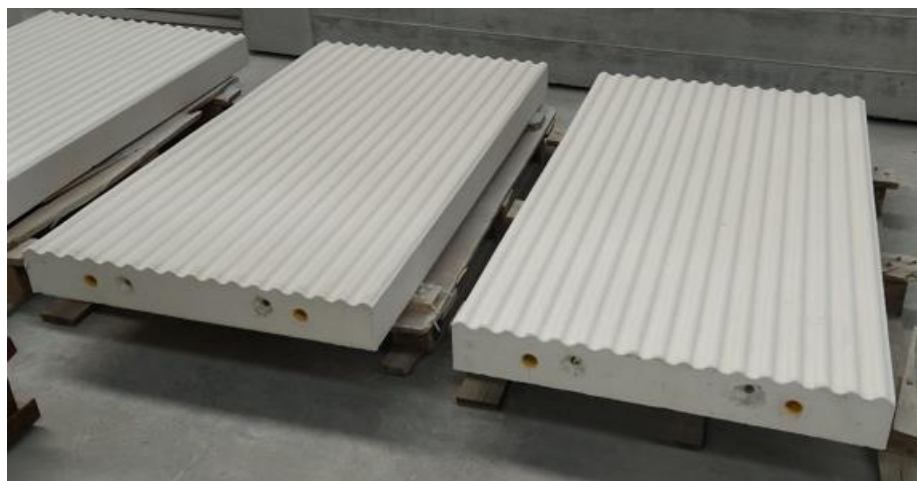


Figura 2-2 – Painéis de revestimento de fachadas;

A pré-Fabricação pesada engloba diversos elementos de secção variável com diversas finalidades de aplicação. De um modo geral, elementos com funcionalidades estruturais de relevante densidade volumétrica estão ligados à pré-fabricação de elementos em betão armado e de aço pré-esforçado, sendo elementos com uma maior complexidade técnica (Lopes & Amado, 2013).

Estes elementos são aplicados em diversas vertentes da construção, nomeadamente na área industrial, habitacional, equipamentos e serviços. São aplicados de acordo com as solicitações da empreitada e

produzidos por métodos de fabricação Manual, através de moldes de grandes dimensões e técnicas complexas de aplicação de pré-esforço. Permitem a execução de elementos com diversas características dimensionais e estruturais, como na execução de pilares, vigas, lajes, painéis estruturais e de revestimento, box-Culvert's, muros de suporte, entre outros (Leite, 2015).



Figura 2-3 – Viga pré-fabricada, aplicação de pré-esforço em pré-tensão;

Os elementos de pré-fabricação pesada estão associados de um modo geral à construção de novas edificações, pois a sua utilização em obras de reabilitação é uma tarefa complexa, devido à dificuldade de harmonização com a estrutura existente e à dificuldade de aplicação (Lopes & Amado, 2013). Contudo, os pré-fabricados ligeiros e leves podem facilmente ser integrados, devido às suas características de aplicação com menor complexidade, sendo aplicados de forma simples e rápida.

### 2.2.3 Processos Industriais de pré-fabricação

O desenvolvimento de processos industriais permitiu a evolução na fabricação elementos pré-fabricados, conforme o produto pretendido, dependendo da caracterização definida no subcapítulo anterior (leve, ligeiro e pesado).

No caso dos pré-fabricados considerados leves, a sua produção é realizada através de equipamentos especializados e industrializados. A produção é controlada por computadores, sendo que é definida a composição de betão a aplicar, garantindo-se os desempenhos mecânicos especificados. As quantidades dos aditivos e a água de amassadura são mecanicamente regulados, de forma a trabalhar em consistência seca. O tempo de cura é regulado e reduzido, aumentando a produção diária.

Este processo de produção consiste na fabricação contínua de peças generalizadas e na moldagem ininterrupta de um determinado molde que se encontra acoplado a um dispositivo mecânico deslizante ou fixo de distribuição, no qual é realizada a moldagem e devida compactação do betão (Machado, 2015).



Figura 2-4- Produção de Anéis pré-fabricados através de dispositivo mecânico deslizante;

Os elementos ligeiros, devido às suas especificações técnicas e geométricas e na ausência de equipamentos incorporados com molde de produção de fabrico destes elementos em serie, necessitam de outros métodos de fabrico e apoio especializado, necessitando de outros recursos, como por exemplo produção do elemento em mesas fixas, mesas basculantes, equipamentos de produção verticais e através de moldes fabricados especialmente para a execução de um elemento.



2Figura 2-5- Mesa fixa com vibrador acoplado;

Os elementos pré-fabricados considerados como pesados, requerem outros tipos de produção, sendo necessário equipamentos específicos e mão de obra especializada que permitam a sua execução conforme as solicitações necessárias, como por exemplo na aplicação de pré-esforço pré-tensionado em estruturas especiais, sendo necessário a utilização de ancoragens hidráulicas para a realização do puxe dos cordões de aço.

Ou seja, apenas os pré-fabricados considerados como leves, são produzidos num curto espaço de tempo, em que definido e regulando a composição do betão e a sua envolvente, produz de forma mecanizada, com base no plano de instrução de operações definido, sendo estes atualizados, de forma a melhorar a qualidade do produto.

Relativamente à pré-fabricação ligeira e pesada, é necessária uma devida preparação do departamento comercial e de projeto, de forma a transmitir à produção as características necessárias para a execução do produto, conforme solicitado pelo cliente ou definido em projeto. Geralmente, o fabrico destes elementos tem tendência a desencadear um processo de desenvolvimento do produto, necessitando de uma devida análise técnica, seu dimensionamento, preparação da sua execução e sua aplicação.

Tendo sido descrito anteriormente sobre a produção de elementos considerados leves, proceder-se-á assim, na descrição de processos de fabrico designados por ligeiros e pesado.

#### **2.2.4 Faseamento do Processo de Pré-fabricação (caso de estudo - Farcimar)**

O processo inicia-se por uma procura do cliente, através de consulta aos comerciais, demonstrando o seu interesse na utilização de produto que satisfaça as necessidades. O comercial analisa e envia a sua proposta, descrevendo as características técnicas e económicas da operação, tendo em conta as condições de exequibilidade do exigido. Sendo adjudicada a proposta, o comercial procede para o encaminhamento da encomenda para o Departamento de operações, caso se trate de um elemento padronizado, ou para o departamento de projeto, quando haja a necessidade de elaboração de um projeto de execução, o projeto é constituído por uma memoria descritiva e justificativa e por peças desenhadas para uma clara compreensão do pretendido.

O projeto de execução é posteriormente enviado ao cliente para apreciação e validação, havendo incoerência o projeto será revisto conforme as solicitações e especificações do cliente, em caso de aprovação é remetido ao departamento de operações.

Ao departamento de operações são remetidas as peças desenhadas do produto, designadas como fichas de produto, fichas essas que descrevem a composição de betão a usar no produto, as suas características geométricas e técnicas, com as tolerâncias dimensionais e os acessórios de ligação e elevação aplicáveis. As fichas de produto são desenvolvidas de forma a cumprir com o especificado no Sistema Integrado de Gestão, garantindo que o produto é devidamente controlado e executado conforme os planos definidos.

Sendo fornecidas as instruções necessárias para o desenvolvimento do produto, o departamento de operações, procede com a ordem de fabrico, planeando o processo com datas de início e fim, tendo em consideração todos os materiais e acessórios necessários. O processo de fabrico engloba os seguintes trabalhos:

- 1. Preparação de Armaduras;** A preparação de armaduras inicia-se após a receção de ordem de fabrico emitida pelo departamento de produção, complementada pelas fichas técnicas elaboradas pelo departamento do projeto, que descrevem sucintamente as armaduras

necessárias a aplicar no produto desde o tipo de aço a aplicar, as ligações entre elementos, os diâmetros dos varões, o espaçamento entre eles e o recobrimento da peça.

Geralmente as armaduras utilizadas na pré-fabricação são soldadas através do método “MIG-Metal Inert Gas”. Tendo sido concluído o processo de preparação da armadura para a utilização na produção do pré-fabricado, o técnico de laboratório procede a sua verificação comparando com o especificado na ficha de produto;



Figura 2-6- Processo de soldadura de armaduras;

2. **Planeamento e definição do molde;** a seleção do molde é da responsabilidade do departamento de produção, conforme a geometria e características definidas na ficha de produto, sendo avaliadas as soluções e que moldes a utilizar dependendo da geometria;
3. **Preparação dos moldes para a betonagem;** A preparação dos moldes inicia-se com as tarefas de limpeza do mesmo, garantindo que a mesa esteja isenta de ferrugem, de gorduras que poderão manchar a face visível da peça e de materiais sobranes de betonagens anteriores. Após este processo é verificado a conformidade do molde. Sendo este aprovado, procede-se à aplicação do óleo descofrante na sua superfície de uma forma uniformemente distribuída, sem a formação de charcos e escorrimentos;
4. **Aplicação da armadura nos moldes;** A armadura é posicionada no interior dos moldes através de meios de elevação. Na sua aplicação deve-se garantir o recobrimento definido em projeto,

através de espaçadores, e a aplicação dos acessórios de elevação a incorporar na peça, obedecendo às indicações da ficha de produto;



Figura 2-7- Preparação estrutural do elemento;

5. **Betonagem;** Após a preparação do molde de betonagem, da aplicação das armaduras e seus acessórios, procede-se à betonagem do elemento, sendo limitada a altura de betonagem de forma a prevenir a segregação dos materiais. A composição do betão a utilizar e a sua consistência é definida pelo departamento do projeto nas fichas de produto tendo em conta as características estruturais pretendidas e ainda as exigências em termos de arquitetura. Durante a betonagem são retiradas amostras do betão para provetes cúbicos para realização de ensaios laboratoriais;
6. **Vibração do Betão e acabamentos;** A vibração pode ser realizada através de meios de vibração amovíveis ou através de vibradores de alta frequência acoplados no molde. Os vibradores acoplados no molde devem estar devidamente regulados para evitarem a segregação excessiva do betão, e inicia-se quando o molde está todo preenchido. Os acabamentos da parte superior (exposta) da peça encontram-se descritos nas fichas de produto, o tipo de acabamento tem de ter em conta o desenvolvimento da cura do betão, como por exemplo na execução de um acabamento rolado, em que, a superfície não deve ter depósitos de goma (água). Este processo finaliza quando os acabamentos da parte superior da peça (face rugosa) estiverem concluídos.
7. **Cura no molde;** A cura do betão armado está associada às condições climáticas podendo-se adotar uma “Cura Húmida” ou uma “cura com calor”. Forma a evitar perdas significativas de humidade durante o processo e assegurar uma cura que permita uma devida impermeabilidade de líquidos e gases na zona superficial as peças são cobertas com uma manta plástica ou geotêxtil.

Em ambiente industrial é possível a gestão das condições térmicas da cura dos elementos betonados, prevenindo e evitando, por exemplo a ocorrência de fissuração no caso de uma cura rápida devido a temperaturas altas.



Figura 2-8- Cura Húmida;

A cura em ambiente fabril permite uma melhor qualidade e controle da cura, ao contrário da construção tradicional, em que, as betonagens estão muito suscetíveis às intempéries;

8. **Desmoldagem;** A desmoldagem é executada após o betão ter adquirido a resistência mínima, conforme estipulado nos quadros de tempos de desmoldagem, sendo inspecionada visualmente e em caso de conformidade, através de pontes de elevação são retiradas as paredes divisórias amovíveis e o elemento pré-fabricado de forma simples e segura, através de acessórios de elevação incorporados na peça, sendo transportada para o local de armazenamento, procedendo a inspeção visual e geométrica da peça, sendo executados retoques do elemento caso se justifique.
9. **Armazenamento ou Stockagem;** Retirados os moldes, as peças pré-fabricadas são colocadas num local protegido, podendo ser aplicados em cavaletes, ou, sobre uma superfície de madeira, plástico ou borracha, de forma a não causar empenos nas peças. Os elementos pré-fabricados geralmente são colocados conforme a posição de transporte final, aguardando pela sua expedição. As peças são devidamente etiquetadas e marcadas no âmbito da marcação CE do produto, se for o caso.



Figura 2-9- Armazenamento de painéis estruturais;

**10. Expedição;** Após o produto estar concluído o departamento de produção indica ao comercial a conclusão do processo. O departamento comercial ajusta com o cliente as datas de transporte e emite uma ordem de carga, procedendo-se ao transporte em segurança da fábrica até ao seu destino final.

**11. Montagem;** O conhecimento da aplicação final do produto é importante, uma vez que determina diversas condicionantes a ter em conta nos processos anteriores, desde o projeto de execução ao desenvolvimento da produção, em que no projeto deve constar o posicionamento do elemento pré-fabricado em obra, o seu peso próprio e estabelecida a quantidade e localização dos acessórios de elevação do tipo RD ou Ancoras de forma a possibilitar a sua aplicação, tanto como os elementos de ligação entre peças.

Concluído todo o processo, é avaliada a satisfação do cliente através do envio de inquéritos de satisfação ao cliente para preenchimento.

Durante o desenvolvimento dos vários processos descritos anteriormente, deve ser elaborado um controlo da qualidade segundo a Norma NP EN ISO 9001:2008, podendo a empresa obter certificado pelas atividades de “Produção de artefactos de Cimento / Pré-fabricados de Betão Simples e Armado; Produção de Betão Pronto”.

Todas as instruções para a verificação e controlo dos processos são realizadas de acordo com o exigido no Plano de Inspeção e Ensaios, elaborado com base nas normas regulamentares e legislação aplicável.

Relativamente à gestão ambiental no desenvolvimento deste processo, o plano baseia-se em objetivos e estratégias que visam garantir a preservação dos recursos naturais e a minimização dos impactes negativos sobre a saúde e o ambiente. Como por exemplo, na separação dos resíduos sobranes da operação e recolha por uma entidade gestora de resíduos habilitada. Outro exemplo, é o tratamento das

águas contaminadas provenientes da produção, por uma Edificação de Tratamento de Águas Residuais e Industriais (ETARI), possibilitando a sua reutilização no sistema produtivo.

A segurança no desenvolvimento deste processo é muito importante, sendo todos os trabalhos instruídos por um manual de prevenção dos riscos individuais e coletivos associados ao desenvolvimento de cada operação de e adotando / adaptando atempadamente a aplicação de princípios e técnicas de prevenção.

### **2.2.5 Vantagens da Pré-Fabricação**

A industrialização de pré-fabricação de betão armado, permitiu um enorme desenvolvimento dos processos de operação na sua agilidade de produção em reduzidos espaços temporais e no desenvolvimento de tecnologias que permitem a produção de elementos em grande volume, reduzindo os custos associados.

Durante a evolução da pré-fabricação, foram elaboradas muitas investigações sobre as vantagens da aplicação destes materiais na área da construção (Lopes & Amado, 2013), nomeadamente:

- Simplificação do projeto de execução, especificando o elemento a fabricar e o seu plano de montagem, representando de forma concisa o pretendido;
- Projeto com maior compatibilidade com a sua finalidade, devido à interação entre o projetista e o cliente;
- Participação de Fornecedores de Pré-fabricados em projetos de conceção/ execução, o que permite melhorar o projeto a nível das interligações entre os próprios elementos e as várias especialidades da empreitada, não estando sujeita a alterações por parte do empreiteiro;
- Produção de elementos pré-fabricados, com o devido controlo de qualidade em todo o desenvolvimento do processo, sendo adotados produtos certificados e elaborados ensaios laboratoriais ao produto final;
- Rápida aplicação dos elementos em obra, devido ao seu planeamento antecipado e sistemas de operações a executar em obra, não estando dependente das intempéries, facilitando o cumprimento dos prazos de execução;
- Redução da necessidade aplicação de andaimes para aplicação de armaduras e cofragens, reduzindo assim os custos e o tempo de demora destes processos;
- Uma menor incidência de acidentes de trabalho, face à diminuição de trabalhos em altura de aplicação de armaduras e de cofragens através de andaimes;

- Produção sustentável, reaproveitando em ambiente fabril as cofragens utilizadas (mesas de moldagem) e outros elementos complementares, devido á fabricação de vários elementos equivalentes;
- Facilidade na remoção de elementos estruturais pré-fabricados devido as suas ligações geralmente mecânicas, sem estes serem danificados, podendo ser reaproveitados para outros fins;
- Simplifica a gestão e fiscalização da qualidade do produto aplicado e a construção final;
- Garante qualidade e eficiência, no processo construtivo, por mão de obra especializada, garantindo a segurança e rapidez das operações, sendo uma alternativa à crescente escassez de mão de obra na construção;
- Permite uma redução significativa dos resíduos de construção e demolição produzidos em obra, associados à construção tradicional, e assim, reduzindo os custos de reencaminhamento de produtos para vazadouros;
- Redução global do tempo, dos custos de construção, aproveitamento de mão de obra especializada quer na produção dos elementos pré-fabricados como na sua aplicação global de construção devido à conjugação dos benefícios referidos anteriormente;

Face ao descrito anteriormente, pode-se afirmar que o método de pré-fabricação contém deusas vantagens na construção civil, desde a execução e planeamento de projeto, à produção do elemento, garantindo a sua eficiência e eficácia, a gestão dos processos, garantindo uma maior segurança e conclusão da empreitada. Apesar do seu enorme desenvolvimento nos últimos anos, ainda apresenta alguns obstáculos e divergências com a construção tradicional, sendo encarada como métodos a melhorar na aplicação de pré-fabricados na área de construção (Lopes & Amado, 2013).

### **2.2.6 Dificuldades da Pré-Fabricação**

Ultimamente tem sido notório o aumento do âmbito de aplicação de produtos pré-fabricados na construção civil. Contudo, ainda surgem alguns entraves na execução de alguns elementos, devido à sua geometria complexa e necessidades técnicas, sendo necessários estudos e moldes específicos para a sua produção, pois, não podem ser enquadrados nos moldes padronizados existentes em fábrica, acarretando as seguintes desvantagens:

- Aumento do custo inicial da obra devido à complexidade exigida pelo promotor;
- Aumento do tempo necessário para a realização do estudo necessário de exequibilidade e afetação da fase de conceção, devido ao seu rigor;

## CAPÍTULO 2

- Limitações de espaço para aplicação de pré-fabricados no local pretendido, por exemplo, a inacessibilidade dos meios de elevação e a necessidade de meios de transporte e movimento;
- Reduzida experiência em processos não generalistas;
- Pouca procura de elementos pré-fabricados em betão, não havendo projetos padronizados;
- Necessidade de grande rigor e controlo nas ligações entre os elementos pré-fabricados;

Atendendo às desvantagens listadas anteriormente ainda existe uma forte dependência da construção convencional, em que os promotores tem alguma insegurança sobre esta técnica e procedem ao desenvolvimento dos trabalhos “in situ”, independentemente da desarmonia dos recursos humanos, prazos e custos associados a este método (Lopes & Amado, 2013).

## CAPÍTULO 3

### **BARREIRAS ACÚSTICAS**

Uma Barreira Acústica é constituída por uma estrutura que reflete a maior parte da energia sonora incidente, de volta à fonte Sonora (Xavier, 2009).

Com o desenvolvimento económico da sociedade e havendo um aumento exponencial da mobilidade, tornou-se necessário a construção de infraestruturas rodoviárias e ferroviárias, tendo como consequência o ruído gerado pelos veículos circulantes.

Dada a importância da diminuição do ruído, devido ao desconforto e ao seu impacto ambiental, houve a necessidade de desenvolver meios e aplicar medidas de forma a melhorar, ou pelo menos, manter, a qualidade de vida das populações (Barreto, 2004).

Estando a maior parte do ruído rodoviário associado ao atrito entre os pneus dos veículos e o pavimento, desenvolveram-se estudos de composições de pavimentos mais “silenciosos”, os quais têm um bom desempenho na redução do som, tal como foram desenvolvidos dispositivos redutores de ruído como as Barreiras Acústicas (Carneiro, 2018).

### 3.1 CONCEITOS TEÓRICOS

As Barreiras Acústicas têm como objetivo interromper a trajetória da onda sonora proveniente da fonte, reduzindo assim o ruído que irá atingir o meio receptor (Xavier, 2009).

A trajetória da onda sonora pode ser interrompida com a presença de obstáculos, originando diversos fenômenos de dissipação conforme as suas características e localização. A redução do ruído em barreiras acústicas resulta dos fenômenos de reflexão, absorção, transmissão e difração. A reflexão surge quando uma onda sonora se propaga e ao incidir com a barreira uma parte desta energia retorna para a sua fonte. A restante é absorvida e transmitida, sendo que a absorção depende das características absorventes do material e a transmissão está sujeita à vibração dos materiais. Assim sendo, estes fenômenos dependem apenas das propriedades dos materiais constituintes da barreira acústica. Já a difração depende das características geométricas das barreiras e da sua localização (Xavier 2009).

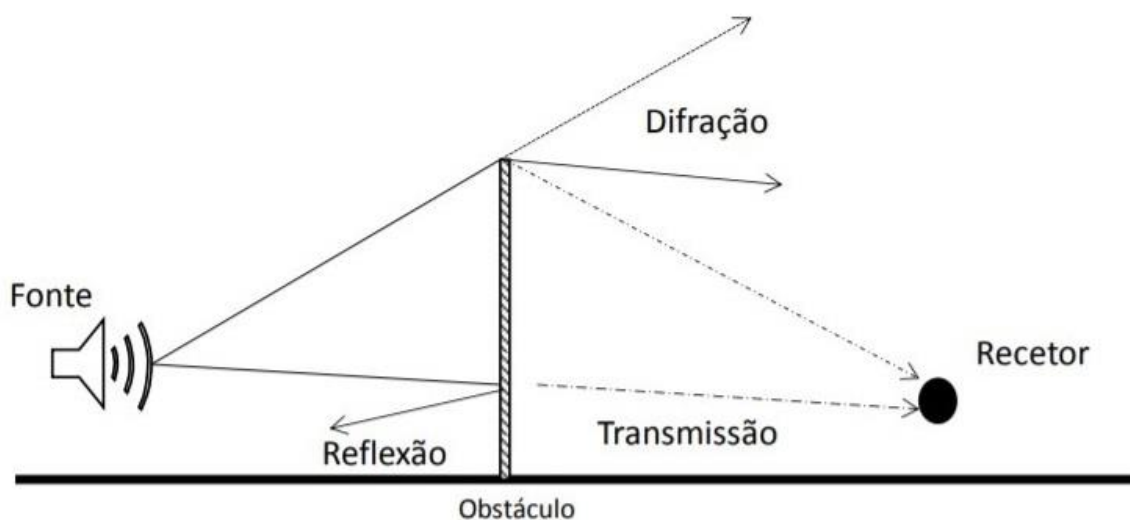


Figura 3-1 – Propagação de uma onda Sonora em Barreiras Acústicas (adaptado de FHWA, 2000);

No que diz respeito à difração, este fenômeno está associado às frequências das ondas sonoras, podendo estas serem de frequência elevada e baixas, tendo um comprimento de onda mais pequeno e maior, designadamente. As barreiras acústicas têm uma maior influência na redução das frequências elevadas, uma vez que as ondas com baixa frequência podem atingir o recetor indiretamente, devido ao seu extenso comprimento e à facilidade em ultrapassar as barreiras acústicas associado ao seu ângulo de difração e influência (FHWA, 2017).

Este fenômeno é um dos aspetos mais relevantes no desempenho das barreiras. Para uma melhor compreensão do descrito anteriormente, pode-se observar na seguinte figura as zonas afetadas por este fenômeno. A zona clara representa a interferência indireta, em que frequência vai reduzindo após a zona de transição até uma zona em que a frequência é nula, designada por zona de sombra (Xavier, 2009).

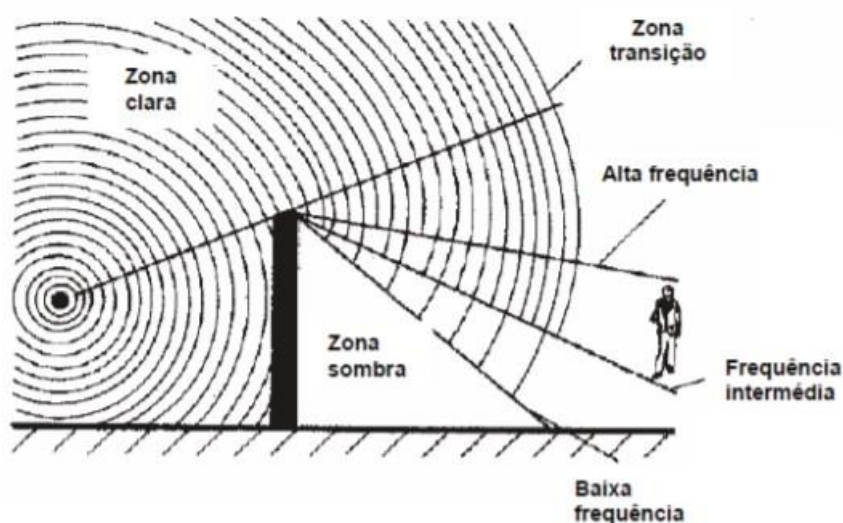


Figura 3-2 – Representação do fenómeno de difração (adaptado de Crocker, 2007)

As características das ondas sonoras, frequências, distâncias percorridas e as atenuações sonoras podem ser calculadas através de vários conceitos e fórmulas estabelecidas (Xavier, 2009). Nos próximos subcapítulos serão desenvolvidos os conceitos e as características das barreiras acústicas.

## 3.2 CONDICIONANTES DO DESEMPENHO

Como abordado anteriormente, a localização das barreiras acústicas e as características técnicas dos elementos são importantes para o seu desempenho, de forma a diminuir o índice sonoro e manter a qualidade ambiental do meio envolvente.

### 3.2.1 Meio envolvente

Os resultados das barreiras acústicas são influenciados por toda a sua envolvente, nomeadamente meteorologia, tipos de solo e localização, sendo estes fatores considerados extrínsecos.

Relativamente às condições meteorológicas, o vento e a temperatura são os principais influenciadores da redução do desempenho das barreiras acústicas. Em situação desfavorável da direção do vento ou efeito de inversão térmica ao sentido da onda sonora entre a fonte e o recetor, as ondas são redirecionadas para o solo desfavorecendo a atenuação da barreira acústica (Xavier, 2009).

A tipologia do solo na envolvente da barreira também influencia o comportamento das barreiras, como podemos observar no parágrafo anterior.

A influência do tipo de solo está relacionada à emissão da onda sonora entre a fonte sonora e o recetor, quando estes dois elementos estão próximos. A reflexão sonora está associada aos materiais aplicados na

envolvente da barreira, como por exemplo, os materiais opacos (betão maciço e água) são considerados “duros” e têm uma reflexão superior em relação aos materiais considerados “macios”, os quais têm uma maior porosidade (solos naturais e fabricados). A localização altimétrica da barreira influencia diretamente na atenuação da reflexão sobre o solo (Xavier, 2009).

Relativamente à localização da barreira, face à direção e frequências das ondas sonoras emitidas pela fonte, a barreira acústica deve ser localizada o mais próximo da fonte sonora, de forma a proteger os recetores e a obter uma atenuação de ruído (Crocker 2007).

A localização de barreiras tem como objetivo a proteção dos meios recetores mais próximos, como habitações, hospitais, equipamentos sociais e afins, podendo não atenuar o ruído em localidades não previstas.

### **3.2.2 Dimensões Geométricas**

As dimensões geométricas das barreiras são características fundamentais para o seu desempenho acústico, principalmente a altura em relação à fonte sonora.

A altura das barreiras acústicas está associada à atenuação sonora produzida, em que quanto mais alta for a barreira maior será a atenuação do ruído, aumentando a distância entre o percurso direto da onda sonora e o percurso sobre o topo da barreira, ampliando a perda por inserção provocada pela barreira, segundo estudos realizados por Daigle em 2009. Em média, as alturas mais usuais de uma barreira está na ordem dos 2 a 6 metros, com capacidade de induzir uma perda de inserção entre os 5 e 12 dB (Gonçalves, 2014).

O comprimento da barreira acústica também é importante, devendo ser extensa o suficiente para atenuar a onda sonora emitida ao recetor, aumentando assim sua eficácia. A FHWA (2000) apresenta um método empírico de modo a determinar o comprimento de barreira necessário. Considerou que a distância entre o recetor e a extremidade da barreira deve ser pelo menos quatro vezes à distância perpendicular desse recetor à barreira (Gonçalves, 2014).

A geometria do topo da barreira é um aspeto relevante na atenuação de efeito de difração. Ao longo do tempo foram desenvolvidos vários estudos de desempenho com a aplicação de dispositivos de topo adicionais à barreira e avaliação da sua eficácia. Concluindo que as aplicações destes dispositivos permitem uma perda por inserção adicional (Gonçalves, 2014). Tendo-se desenvolvido várias formas geométricas, como por exemplo, elementos em forma de “T”, “Y”, de cogumelo, de cilindro entre outras. Tem-se desenvolvido um especial interesse na aplicação destes dispositivos adicionais, quando há a necessidade de reforçar a atenuação do ruído da barreira sem intervir na sua altura (Xavier, 2009).

### **3.2.3 Propriedades absorventes**

O desempenho das barreiras acústicas estando associado ao seu meio circundante, a sua eficácia reduz quando existem na proximidade superfícies refletoras. Estas últimas geram reflexões múltiplas do som, como o eco e a reverberação. Este fenómeno surge normalmente quando existem na via de comunicação barreiras em paralelo ou edifícios do seu lado oposto. Com as barreiras em paralelo podem ocorrer reflexões múltiplas, as quais levam à difração das ondas sonoras pelo topo das barreiras acústicas.

Para a redução da pressão sonora e evitar o acréscimo do ruído, podem ser aplicados materiais absorventes do lado da fonte sonora, reduzindo a pressão sonora refletida e evitar o acréscimo de ruído aos recetores não protegidos. Esta solução deve ser aplicada em vias de circulação habitualmente utilizadas por veículos pesados, provocando reflexões múltiplas que aumentam a probabilidade de difração pelo topo da barreira, segundo a FHWA (Xavier, 2009).

### **3.2.4 Degradação**

Como todo o tipo de estruturas, ao longo do tempo, vão surgindo algumas patologias associadas às fundações e às intempéries que o material constituinte da barreira está sujeito. Estas originam a fissuração e assentamentos do solo, os quais contribuem para uma descontinuidade estrutural do sistema de barreiras (Xavier, 2009).

A continuidade e harmonização do sistema de barreiras é importante para garantir a estanquidade sonora e a sua eficácia.

## **3.3 CARACTERIZAÇÃO DAS BARREIRAS ACÚSTICAS**

A tipologia das barreiras acústicas está associada ao seu desempenho na absorção das ondas sonoras, através do seu material constituinte, podendo ser classificadas como barreiras refletoras, absorventes e combinadas.

As barreiras são executadas geralmente em betão, alvenaria, metal, acrílico, plástico, madeira e por cortinas naturais.

### **3.3.1 Barreiras refletoras**

As barreiras refletoras são caracterizadas por não desempenharem a função de absorção, não sendo constituídos por qualquer tratamento absorvente, pelo que refletem o som para o sentido oposto, segundo a FHWA (Xavier, 2009).

O material mais utilizado neste tipo de barreiras são os painéis em acrílico e de betão. Os painéis de acrílico são geralmente utilizados quando se pretende assegurar a transparência do meio envolvente, diminuindo o impacto visual. Tem como principais características a redução acústica obtida, os custos reduzidos, facilidade de aplicação e o bom comportamento em relação às intempéries.

Os painéis de betão são elementos opacos caracterizados pelo seu desempenho acústico, facilidade de aplicação, resistência, vida útil extensa, e pela possibilidade de execução diversos acabamentos integrantes na paisagem (Barreto, 2004).

### 3.3.2 Barreiras absorventes

Relativamente às barreiras absorventes, a superfície da barreira com tratamento absorvente permite evitar reflexões entre a fonte e a barreira, evitando um acréscimo de ruído (Xavier, 2009).

Segundo Watts (2002), subsistem três tipos de sistemas absorventes aplicados em barreiras, designadamente, os sistemas de caixa oca compostos por material fibroso (fibras de vidro ou madeira), sistemas de painéis compostos com materiais porosos e sistemas com cavidades ressoadoras. A próxima figura representa a relação entre a frequência e o coeficiente de absorção sonora (Gonçalves, 2014).

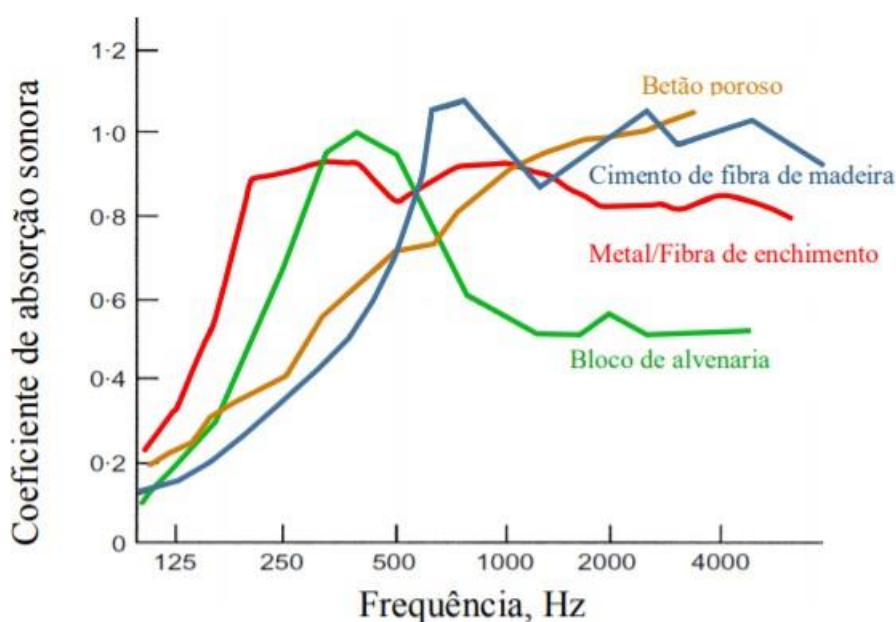


Figura 3-3 – Relação entre a frequência e absorção sonora entre Barreiras

(adaptado de watts, 2002);

Através da figura apresentada anteriormente pode-se constatar que uma grande parte das barreiras acústicas para as baixas frequências sonoras apresentam um grande coeficiente de absorção sonora

deformando-se conforme o aumento da frequência. As barreiras constituídas por cimento de fibra e de madeira são eficientes para uma elevada frequência sonora (Gonçalves, 2014).

A utilização de barreiras com material absorvente permite uma redução substancial do ruído refletido e conseqüentemente uma melhoria na qualidade ambiental, contudo, são elementos com custos mais elevado (Gonçalves, 2014).

As barreiras acústicas podem ser constituídas por diversos materiais como observado anteriormente, tipicamente são utilizados os muros de alvenaria, metálicos, betão, madeira e compósitos.

Em Portugal, os painéis acústicos metálicos são os mais utilizados, face as suas características de absorção, custo reduzido e facilidade de aplicação. A vantagem destas barreiras é a integração paisagística da barreira, podendo ser lacrada de forma a minimizar o impacto visual, a desvantagem é a necessidade de manutenção periódica. As barreiras são constituídas por uma face exterior perfilada e o seu interior por lã mineral, permitindo uma melhor resposta ao espectro incidente e absorção/isolamento do ruído, designadamente (Barreto, 2004).



Figura 3-4 – Painéis Metálicos (Barreto, 2004);

As barreiras acústicas em betão também podem ser absorventes, a geometria textural da face recetora e os agregados utilizados originam uma superfície porosa e nervurada, atribuindo ao painel um melhor desempenho à absorção. A vantagem destas barreiras são a sua elevada resistência, a pouca manutenção e a integração paisagística, as principais desvantagens é o custo de instalação elevado em comparação com as outras barreiras devido aos recursos elevatórios exigidos para a sua aplicação e a sua opacidade, havendo a necessidade de integrar no sistema janelas com painéis acrílicos (refletores) de forma a aumentar a propagação da luz e a visibilidade, aumentando o custo de instalação.



Figura 3-5 – Barreiras acústicas em betão poroso;

Outro tipo de barreiras em desenvolvimento, são as barreiras compósitas, constituídas por dois ou mais materiais que permitem uma melhoria do desempenho acústico. Este método, permitiu que aos painéis de betão refletores fossem complementados por um material adicional no extradorso que permitisse a absorção das ondas sonora, este método consiste na aplicação de uma matriz de um material compósito sobre a face estrutural do elemento, como por exemplo a aplicação de madeira, fibra de vidro, borracha, lava ou betão madeira. Estes tipos de barreiras necessitam de um estudo prévio sobre o seu desempenho, durabilidade e segurança (Carneiro, 2018).

Nos últimos anos têm sido desenvolvidos vários tipos de investigações na área dos materiais compósitos, devido à tentativa de redução do impacte ambiental na construção, associado à intensa utilização de recursos naturais, elevado consumo de energia e produção de resíduos.

De forma a atenuar o impacte ambiental negativo na produção do betão, têm sido estudadas formas de substituição dos agregados convencionais por resíduos de demolição, de vidro, plástico e de cerâmica. Têm sido desenvolvidos estudos de integração de resíduos agroindustriais (madeira, cortiça, casca de arroz) com o objetivo de reduzir a massa volúmica do betão, melhorar as propriedades térmicas e o desempenho ambiental.



Figura 3-6 – Barreira Acústica de betão e casca de arroz;

### 3.4 REGULAMENTAÇÃO APLICÁVEL

Com o desenvolvimento de dispositivos de redução de ruído, na década de 90, o Comité Europeu de Normalização criou um grupo de trabalho, tendo se formado o Comité Técnico TC 226 “Equipamentos para Estradas”. Este grupo técnico deu início ao desenvolvimento de normas que regem e avaliam as características dos dispositivos de redução de ruído, tendo em conta as suas características acústicas e não acústicas (Xavier, 2009).

A conceção destas normas teve como objetivo preconizar um conjunto de procedimentos, tanto laboratoriais como *in situ*, os quais permitam avaliar o seu desempenho intrínseco, determinando a sua absorção sonora, o isolamento sonoro aéreo, de difração e de reflexão.

Outras normas que foram elaboradas, visando a regulação das características de aplicação/ instalação do equipamento, avaliação extrínseca, tendo em conta a segurança, o ambiente e a sua estabilidade, todas estas características podem ser avaliadas por métodos de ensaio *in situ*. Esta avaliação considera os fatores que não estão relacionados com o produto, nomeadamente a qualidade do trabalho da instalação da barreira e as características da sua envolvente (Pires, 2014). Além destas condicionantes, as condicionantes mecânicas e o envelhecimento das barreiras são fatores fundamentais no seu desempenho, devendo ser consideradas em fase de projeto.

O conjunto de normas especificadas permitem a adoção do dispositivo de ruído mais adequado a aplicar, tendo em conta o seu desempenho a curto e a longo prazo. A aplicação das normas permite que as empresas construtoras produzam produtos com a certificação CE, apresentando a qualidade do seu produto às entidades interessadas. Assim sendo, facilita-se aos gestores de infraestruturas rodoviárias as escolhas dos materiais a aplicar, face às necessidades de projeto e ao seu desempenho temporal (Xavier, 2009).

### 3.4.1 Métodos de Ensaios Laboratoriais

Os métodos de ensaios laboratoriais permitem avaliar o desempenho individual/ intrínseco das barreiras acústicas quando expostas a ondas sonoras em ambiente controlado, avaliando as características de absorção sonora e o seu desempenho perante os sons aéreos.

Os resultados obtidos nestes ensaios laboratoriais permitem avaliar e selecionar o equipamento redutor de ruído mais vantajoso a aplicar, face às condicionantes especificadas nos projetos desenvolvidos.

Com base na norma EN 20354, o método de ensaio laboratorial de desempenho da absorção sonora de dispositivos de redução de ruído de tráfego rodoviário é descrito na norma EN 1793-1:2012, pelo que face aos resultados obtidos é-lhe atribuída uma classificação (Xavier, 2009).

Segundo a NP EN ISO 354:2007, o ensaio é realizado em câmara reverberante, onde é colocado um provete de amostra da barreira. Através de equipamentos simuladores de produção da onda sonora, obtém-se os tempos de reverberação médios, resultantes da diferença entre os níveis de pressão sonora, com uma ponderação A. Estes resultados permitem obter o índice único de classificação do coeficiente de absorção sonora do elemento, designada por  $DL_\alpha$  (Xavier, 2009).

O coeficiente de absorção sonora ( $DL_\alpha$ ) representa a fração da energia incidente no material e a absorção obtida pelo componente (Soares, 2018).

A norma EN 1793-1:2012, consoante os resultados obtidos, define a classificação do dispositivo de acordo com o  $DL_\alpha$  obtido, através de seis categorias de absorção sonora, desde o A0 até ao A5, conforme a seguinte figura.

<b>Category</b>	<b><math>DL_{\alpha}</math> dB</b>
A0	Not determined
A1	$DL_{\alpha} < 4$
A2	4 to 7
A3	8 to 11
A4	12 to 15
A5	> 15

Figura 3-7 – Quadro de classificação da absorção sonora de barreiras acústicas segundo a EN-1793-1:2012;

O método laboratorial para a determinação das características intrínsecas do isolamento a sons aéreos é estipulado pela EN 1793-2:2012, tendo como base a metodologia dos ensaios definida na EN ISO 140-3. O ensaio é realizado em câmara reverberante, tal como descrito anteriormente na determinação do coeficiente de absorção ( $DL_{\alpha}$ ), em que é utilizado um equipamento que simula uma fonte de ruídos de sons aéreos. Conforme a ISO 10140-2:2010, é elaborada uma curva de isolamento sonoro normalizado e o índice de isolamento é obtido conforme a norma ISO 717-1:2013 (xavier, 2009).

A diferença entre os níveis relativos da pressão sonora de ponderação A, em decibel, permitem a obtenção do índice único de classificação de isolamento a sons aéreos ( $DL_R$ ).

A norma EN 1793-2:2012, consoante os resultados obtidos, determina a classificação do desempenho do dispositivo de acordo com o  $DL_R$  obtido, desde o B0 até ao B4, conforme a seguinte figura (Xavier, 2009).

<b>Category</b>	<b><math>DL_R</math> dB</b>
B0	Not determined
B1	< 15
B2	15 to 24
B3	25 to 34
B4	> 34

Figura 3-8 - Quadro de classificação de isolamento aos sons aéreos de barreiras acústicas segundo a EN-1793-2:2012;

### 3.4.2 Métodos de Ensaio *in situ*

O ensaio *in situ* tem como objetivo monitorizar o ruído, acompanhando-se a evolução do ambiente acústico em locais com ocupação sensível ao ruído, nomeadamente em pontos mais próximos à via. Pretende-se assim avaliar e definir a aplicação dos dispositivos de ruído.

Os métodos de avaliação das características intrínsecas (reflexão sonora e isolamento sonoro aéreo) dos dispositivos de redução sonora, *in situ*, foram desenvolvidos no projeto de investigação europeu Adrienne. O método Adrienne baseia-se na recuperação de resposta de um impulso acústico na proximidade do dispositivo de ruído em estudo, determinando o índice de isolamento sonoro e de reflexão. Os desenvolvimentos deste estudo deram origem à CN/TS 1793-5 (Xavier, 2009).

A aplicação deste método para definir a difração sonora por um dispositivo adicional de ruído, deu origem à norma CEN/TS 1793-4 (Xavier, 2009).

Segundo a NP 4471:2007, o sinal de ensaio recomendado é o MSL (Maximum length sequence) que é composto por uma sequência pseudoaleatória de valores binários, gerados recursivamente por um registo digital de atraso com N-níveis e retroalimentação. De forma a eliminar as interferências que ocorrem, sobretudo pelas baixas frequências e a componente difratada, o sinal é transformado entre o domínio tempo e o domínio frequência, utilizando uma janela temporal designada por janela temporal de Adrienne (Xavier, 2009).

Relativamente à avaliação de características extrínsecas de uma barreira, existem ensaios *in situ* para a avaliação do desempenho do dispositivo de redução de ruído, determinando a perda por inserção (Xavier, 2009).

#### 3.4.2.1 Reflexão sonora e isolamento sonoro aéreo.

O ensaio de obtenção do índice de reflexão sonora, consiste na utilização de equipamento *in situ* que emite uma onda sonora transitória que se propaga em direção ao dispositivo de redução de ruído em avaliação e na aplicação de um microfone (recetor) colocado entre a fonte e o dispositivo, permitindo avaliar a onda sonora transmitida e refletida. O índice de reflexão é calculado através de uma técnica de subtração do sinal tendo em conta as reflexões provenientes de outras superfícies da sua envolvente e não emitidas pelo dispositivo de redução de ruído. Através da janela temporal de Adrienne, as reflexões que não estão associadas ao dispositivo do ruído, que representam espaços temporais diferentes, podem ser canceladas, o que permite aumentar a eficácia dos resultados do ensaio e determinar o índice de reflexão sonora (Xavier, 2009).

Relativamente à determinação do índice de isolamento sonoro, o ensaio consiste na emissão de uma onda sonora transitória para a face atuante do dispositivo de redução de ruído. O microfone (recetor) é

colocado após o dispositivo e receciona a onda diretamente transmitida e a onda difratada pelo bordo superior da barreira. Através da janela temporal de Adrienne, as ondas da componente difratada são eliminadas face ao seu desfasamento temporal. A determinação do índice de isolamento sonoro é obtida através da comparação entre a onda transmitida e a rececionada (Xavier, 2009).

Os métodos de ensaio *in situ* para a determinação destas características, reflexão sonora e isolamento sonoro, são estabelecidos pela norma NP 4471:2007.

### **3.4.2.2 Difração sonora de dispositivos adicionais**

Os dispositivos adicionais são elementos colocados no topo dos dispositivos de redução de ruído, pelo que o seu objetivo fundamental é a atenuação do som difratado. Podem ser constituídos por várias formas geométricas conforme o objetivo de atenuação, como por exemplo em forma de “T”, de “Y”, cogumelo, cilindro, entre outras (Xavier, 2009).

O método de ensaio para a avaliação do desempenho dos dispositivos adicionais é descrito pela NP 4470:2007. Consiste na emissão de uma onda sonora na zona ativa do dispositivo do ruído e através de um meio recetor (microfone) é captada a pressão sonora transmitida através da barreira e a onda difratada pelo topo da barreira. O ensaio é realizado com o dispositivo adicional e sem a sua aplicação, o qual permite analisar a eficácia do mesmo. As medições do nível de pressão sonora são realizadas em vários pontos de referência próximos do bordo superior das barreiras acústicas (Xavier, 2009).

### **3.4.2.3 Perda por inserção**

Ao contrário dos ensaios descritos anteriormente, este é um método de avaliação de desempenho extrínseco, sendo fundamental a avaliação da perda por inserção. A perda por inserção é determinada por níveis de pressão sonora, os quais são obtidos através do meio recetor, antes e depois da instalação do dispositivo de redução de ruído. Tem como objetivo a monitorização da eficácia da barreira acústica ou diagnóstico e avaliação da solução (Xavier, 2009).

O ensaio permite obter a perda por inserção de uma barreira num local pré-definido e tendo em conta as condições meteorológicas à data do ensaio, avaliando as perdas no mesmo local com dispositivos de redução de ruído diferentes e condições climatéricas idênticas, não podendo ser comparado com ensaios realizados noutros locais e com os mesmos dispositivos. Os procedimentos de ensaio regem-se pela norma ISO 10847:1997 e pode ser elaborado através de dois métodos, o método direto e o indireto (Xavier, 2009).

O método direto considera os níveis de pressão sonora antes e depois da instalação da barreira. Este método apenas pode ser aplicado caso se realizem ensaios antes da aplicação da barreira, sendo que a medição dos níveis de pressão sonora é realizada nas posições de referência da fonte e do recetor, antes

e depois da instalação da barreira. A posição de referência da fonte é definida pelo ponto onde o som transmitido será influenciado pela barreira instalada ou prevista e a posição do recetor no ponto a qual será determinada a perda por inserção. As condições de medição dos níveis de pressão sonora em ambas as fases devem ser equivalentes, como por exemplo, a fonte do ruído, as características meteorológicas, o perfil do terreno, obstáculos e superfícies refletoras (Xavier, 2009).

O método indireto aplica-se quando a barreira acústica já se encontra instalada e não se realizaram ensaios antes da sua aplicação. Posto isto, os níveis de pressão sonora são simulados para a situação antes da instalação, em local equivalente ao local de estudo. A seleção de local equivalente deve ter em conta as características da envolvente como descrito no método direto (Xavier, 2009).

## CAPÍTULO 4

### **EMPREITADA: CONCEÇÃO/ CONSTRUÇÃO DAS BARREIRAS ACÚSTICAS A EXECUTAR NO SUBLANÇO DE AUTOESTRADA**

Neste capítulo realizar-se-á a apresentação de um caso prático, onde serão descritas todas as fases do processo Administrativo e Construtivo de uma empreitada de Conceção/ Construção de barreiras acústicas.

#### **4.1 ÂMBITO DA EMPREITADA**

O caso de estudo é uma empreitada que tem por objetivo a conceção-construção de barreiras acústicas a executar num sublanço de uma autoestrada, com a realização de todos os trabalhos definidos nas peças de procedimentos apresentados pelo dono de obra na fase de concurso. Incluindo a execução do estudo preliminar, projeto de execução, ensaios elaborados in situ e todos os trabalhos necessários para a aplicação de barreiras acústicas.

##### **4.1.1 Concurso de conceção-construção**

O concurso de conceção-construção, conforme previsto no “Titulo IV- Instrumentos Procedimentais Especiais” do Código de Contratos Públicos (CCP), permite submeter em contrato a realização de um ou mais trabalhos de conceção por parte do empreiteiro (e.g., programa base ou similar, projeto de execução e o desenvolvimento dos trabalhos).

Em fase de concurso, são fornecidos ao empreiteiro os estudos prévios realizados, sendo através destas informações que o empreiteiro desenvolve o projeto de execução. Este tipo concurso tem como objetivo a redução custos e prazos de uma obra, devido à diminuição temporal de conversações entre os projetistas e empreiteiro, atribuindo a responsabilidade do projeto de execução ao empreiteiro, permitindo ao dono de obra isentar-se de qualquer incoerência verificada em projeto.

Outra das situações previstas para a realização deste tipo de concurso, deve-se ao facto de o dono de obra não dispor de técnicos com capacidade técnica para o desenvolvimento dos processos devido à sua

complexidade técnica, solicitando aos concorrentes a apresentação dos projetos em fase de concurso. O art.º 220 do CCP, limita a qualificação e capacidade técnica que os candidatos devem apresentar para o desenvolvimento dos trabalhos.

Neste caso de estudo, o processo iniciou-se com a receção de um convite para apresentação de proposta para a obra de conceção-construção conforme previsto no art.º 243 previsto no CCP, acompanhado pelo programa de procedimento e respetivo caderno de encargos.

#### 4.1.2 Documentação fornecida pelo dono de obra

Neste subcapítulo será realizada uma breve descrição das peças procedimentais fornecidas pelo adjudicante, que servem de base para a elaboração da proposta de execução da empreitada.

Conforme previsto no art.º 43 do CCP, foram fornecidos os seguintes documentos:

- **Convite para apresentação de proposta.** Descreve sucintamente a documentação que deverá fazer parte integrante da proposta a apresentar, tais como: declaração do convidado de aceitação do conteúdo do caderno de encargos, estudo preliminar da conceção dos trabalhos, planeamento dos trabalhos, gestão de segurança e saúde na empreitada, plano de gestão ambiental, habilitações exigíveis, entre outros. Este também descreve os procedimentos administrativos relativos à apresentação das propostas, avaliação do júri, exclusão, critérios de adjudicação e realização do contrato;
- **Caderno de encargos.** Descreve o objeto e o regime da empreitada, definindo as cláusulas jurídicas e técnicas e todos os critérios e procedimentos a adotar no desenvolvimento da empreitada, sendo constituído por:
  - Caderno de encargos – Cláusulas gerais. Define as cláusulas gerais do contrato a celebrar entres as duas entidades, mencionado as especificações jurídicas a obedecer durante o desenvolvimento do contrato;
  - Caderno de encargos – Cláusulas especiais. Este documento completa ou substitui as cláusulas gerais, prevalecendo, conseqüentemente as gerais sobre estas. Descreve o objeto da empreitada e os trabalhos a realizar neste âmbito, nomeadamente a elaboração do projeto de execução, o fornecimento e instalação de barreiras acústicas englobando os trabalhos necessários e suas considerações, os ensaios acústicos a realizar, obrigações especiais do empreiteiro, segurança, ambiente, tanto como o prazo de execução da empreitada e a receção de obra;
  - Caderno de encargos – Cláusulas técnicas gerais. Define as cláusulas gerais do contrato a celebrar entres as duas entidades, constituído por especificações técnicas a obedecer

durante o desenvolvimento do contrato. Descreve todos os materiais a utilizar e as técnicas de execução dos diversos trabalhos, como por exemplo, terraplanagem, drenagem, obras de arte, entre outros;

- Caderno de encargos – Cláusulas técnicas especiais. Este documento completa ou substitui as cláusulas técnicas especiais, prevalecendo, conseqüentemente as gerais sobre estas. Descreve as questões técnicas a considerar na elaboração do projeto, como a localização das barreiras, as características, tanto acústicas como mecânicas e as condicionantes de aplicação;
- Anexo I – Índice geral de projeto. Constituído por uma listagem de peças desenhadas das diversas especialidades existentes na zona a intervir, como por exemplo de terraplanagens, drenagem, guardas de segurança, vedações, paisagismo, iluminação, entre outros. Permite assim uma melhor compreensão da situação existente;
- Anexo II – Lista de preços unitários. Define o modelo da lista de preços unitários da proposta, apresentando a numeração dos artigos, a designação dos trabalhos, as unidades de medição e o preço unitário;
- Anexo III – Resumo geral de medições. Define o modelo do resumo geral das medições da proposta, apresentado a numeração dos artigos, a designação dos trabalhos, as unidades de medição, as quantidades previstas, o preço unitário e o valor global do artigo;
- Anexo IV – Plano de Segurança e Saúde (PSS). Documento base para a elaboração do PSS, pretendendo-se que o documento seja elaborado numa perspetiva de sistema de gestão que assegura e controla as condições de segurança da obra nas diferentes atividades e locais no desenvolvimento da empreitada;
- Anexo V – Compilação técnica. Documento que define a organização da compilação técnica da empreitada, desde a fase de projeto, planos e registos de todas as medidas no âmbito da segurança e saúde no desenvolvimento da empreita;
- Anexo VI – Procedimentos operacionais de gestão ambiental (POGA). Documento base para o desenvolvimento do plano de gestão ambiental. Estabelece os requisitos do planeamento ambiental das atividades na empreitada, descrevendo as diretrizes, ações e orientações a desenvolver na fase de construção;
- Anexo VII - Diretrizes para a elaboração do PPGRCD. Documento base para a elaboração do Plano de Prevenção e Gestão de Resíduos de Construção e Demolição (PPGRCD). Estabelece o correto manuseamento, triagem, armazenamento e destino final dos resíduos sobranes da empreitada;

- Anexo VIII – Plano de Consignações. Este documento tem como objetivo a descrição de consignações de terrenos para a execução dos trabalhos, podendo ser parciais ou globais. Nesta empreitada previu-se apenas consignação global dos terrenos;
- Anexo IX – Diretrizes para a elaboração do PCEO. Documento base para elaboração do projeto das condições de execução de obras (PCEO). Este documento estabelece a comunicação, as fases de execução, os esquemas de circulação e a sinalização a adotar em situação de interferência no circuito rodoviário no âmbito da empreitada;
- Anexo X – Garantias de obra. Este documento define as garantias que o empreiteiro terá que conceder após a conclusão da empreitada, dependendo da tipologia trabalhos;
- Estudo do Ruído – Memória Descritiva. Descreve as características da solução a adotar, condicionalismos e o local de implantação das barreiras acústicas com base nos mapas estratégicos de ruído e estudos realizados. De forma a dar cumprimento ao regulamento geral do ruído (RGR), aprovado pelo DL nº 9/2007, com as alterações introduzidas pelo DL nº 278/2007. Esta memória descritiva é acompanhada pelas peças desenhadas.

Com base neste conjunto de documentação procede-se à elaboração da proposta. No subcapítulo seguinte será abordada a fase de elaboração do projeto.

## **4.2 FASE DE PROJETO - ESTUDO PRELIMINAR**

Sendo rececionado o convite de apresentação de proposta por parte do departamento comercial, o comercial analisa a viabilidade de apresentação de proposta. Caso considere que é viável a apresentação da proposta, inicia-se o desenvolvimento do processo de elaboração da proposta.

Sendo necessário para a elaboração da proposta final a compilação de vários planeamentos de especialidades distintas, o comercial reencaminha para o departamento indicado a documentação necessária para a elaboração do respetivo plano.

Neste subcapítulo é abordado o procedimento de elaboração do estudo preliminar, desenvolvido pelo departamento de projeto.

### **4.2.1 Generalidades**

O estudo preliminar tem como base a documentação fornecida pelo dono de obra, com a definição dos objetivos, características orgânicas, funcionais e respetivos condicionamentos. A realização deste estudo tem como objetivo garantir a aplicação da solução mais adequada no âmbito da empreitada de acordo com as normas e regulamentos em vigor, compatibilizando com as peças procedimentais fornecidas.

Posto isto, o processo inicia-se pela análise da documentação fornecida, verificando qual o objetivo da empreitada, as características funcionais previstas e as suas condicionantes.

#### **4.2.2 Questões técnicas exigidas / Descrição da solução proposta**

Num primeiro momento procede-se à análise das peças processuais fornecidas pelo dono de obra, verificando-se as principais questões técnicas a adotar no projeto e suas características, as quais terão por base as cláusulas técnicas especiais e estudo do ruído.

Com base no âmbito da empreitada e nas especificações do caderno de encargos elabora-se uma breve descrição da solução proposta.

A empreitada em estudo tem como âmbito a aplicação de quatro tipos de barreiras acústicas absorventes com face voltada para a via, com localização e características geométricas diferentes, conforme descrito no estudo do ruído. Tem como prazo de execução dos trabalhos 120 (cento e vinte) dias, contados da data de consignação.

O estudo preliminar a realizar consiste na elaboração de uma proposta genérica de adaptação de cada tipo de barreiras acústica, descrevendo-se o processo de execução, tendo em conta as condições reais do terreno, o perfil longitudinal e transversal, os serviços afetados existentes e os limites de expropriação.

De acordo com o caderno de encargos - cláusulas especiais e técnicas especiais - as questões técnicas a ter em conta e adaptadas ao desenvolvimento do estudo são as seguintes:

- As barreiras acústicas serão instaladas no mínimo a 1,20 m do limite exterior das bermas direitas da autoestrada, tendo como única exceção as barreiras acústicas a implementar sobre as obras de arte;
- As características dos taludes existentes (geometria e características geológicas-geotécnicas) serão respeitadas. Sempre que uma barreira acústica seja implementada em zona de talude com uma inclinação acentuada, as fundações das barreiras ficarão completamente enterradas;
- A altura dos painéis das barreiras acústicas a implementar em situações de aterro é definida a partir da cota da berma, sendo o espaço entre a fundação da barreira e o painel colmatado com a aplicação de um lintel pré-fabricado;
- Sempre que a localização da barreira se situe entre 1,20 m e 3,00 m do limite exterior da berma, será instalada uma guarda de segurança, no caso de esta não existir. Nunca em situação alguma serão retirados os guarda corpos das obras de arte;

- Todas as barreiras acústicas serão aplicadas de modo a permitir a visualização da sinalização vertical existente;
- O limite da faixa de expropriação será sempre respeitado no estudo preliminar;
- Estudo prevê a aplicação de portas de emergência de forma a permitir o acesso ao tardo de da barreira, com espaçamento máximo de 200 m, sendo a sua localização, definida em conjunto com a fiscalização;
- Sempre que no tardo de da barreira acústica existam equipamentos associados à telemática rodoviária será criado um acesso aos mesmos, quer através de portas ou janelas. Todas as barreiras que sejam aplicadas sobre as obras de arte serão integralmente compostas por painéis acrílicos;
- De forma a reduzir o “choque acústico” resultante da passagem brusca dos veículos das zonas com barreira para as zonas sem barreira, no início e no fim das barreiras será executada uma redução gradual da altura da barreira até uma altura mínima de 2 m, sendo que o afastamento entre pilares será de 5 m;
- Em todas as zonas de implantação de barreiras, será removida a vegetação existente numa faixa de 0,50 m, medidos para cada lado da barreira, exceção feita a todas as espécies protegidas abrangidas pela legislação em vigor, ou exemplares classificados como de interesse, para os quais será necessário obter autorização prévia, ou outra vegetação que não venha a causar danos na barreira decorrentes do seu normal desenvolvimento;
- Sempre que possível as fundações serão indiretas, através da cravação dos pilares de pilares pré-fabricados, que constituem os montantes no terreno, selando-os de seguida com betão. Este tipo de fundação permite a execução de barreiras acústicas após a execução dos aterros;
- Sempre que o solo apresente características rochosas a fundação será substituída por uma sapata;
- Todas as barreiras acústicas serão alvo de integração e valorização estética e paisagística quer na face voltada para a autoestrada, quer no seu tardo de;
- Sendo da responsabilidade do adjudicatário, o estudo tem em consideração as infraestruturas existentes, ajustando a implementação das barreiras com a interferência dos órgãos de drenagem existentes e os novos a executar em função das novas necessidades, das redes de telemática, camaras de CCTV, postos SOS, sinalização existente, entre outros;
- Sendo da responsabilidade do adjudicatário, no estudo será executado o levantamento de todos os serviços existentes (equipamentos de sinalização, iluminação, rede elétrica comunicações, redes de águas, saneamento, rede de gás, entre outros) e realizada a compatibilização com a

implementação das barreiras acústicas, sendo o traçado da barreira executado em função dos serviços existentes;

Todos as questões técnicas descritas anteriormente devem de ser consideradas e fazer parte integrante do estudo preliminar.

#### **4.2.3 Condicionalismos da obra**

De forma a contabilizar os condicionalismos do projeto e da metodologia de execução dos trabalhos, é realizada uma visita ao local de implementação das barreiras, contabilizando-os de uma forma genérica e global.

Durante a visita ao local, foram identificados os seguintes condicionalismos:

- Existência de linhas elétricas aéreas;
- Existência de linha de Iluminação Pública (IP);
- Postes de Iluminação Pública;
- Sistema de drenagem de águas pluviais;
- Telecomunicações;
- Pórticos;
- Semi-pórticos;
- Caixa de CCTV;
- Sinalização Vertical;
- Posto SOS.

Em fase de obra serão apresentados todos os condicionalismos existentes com a pormenorização de cada um, referenciando-se a sua localização quilométrica e eventual interferência na implantação da barreira. Serão contactadas todas as entidades responsáveis pela gestão das infraestruturas existentes, compatibilizando todos os projetos existentes com a instalação das barreiras.

#### **4.2.4 Avaliação da solução técnica**

Para a avaliação da solução de barreiras acústicas a aplicar no âmbito da empreitada, foram consultadas as peças procedimentais fornecidas, nomeadamente o estudo de ruído.

A memória descritiva do estudo de ruído descreve as características das medidas de minimização de ruído para a zona a intervir, de forma a cumprir com o Regulamento Geral do Ruído (RGR), aprovado

pelo Decreto-Lei nº 9/2007. Com base nas atualizações dos mapas estratégicos de ruído e planos de ação, foi desenvolvido um modelo de cálculo para a avaliação das zonas onde se previa a necessidade de aplicação de barreiras acústicas.

Com base no estudo realizado foram identificados locais que se previa a ultrapassagem dos limites estabelecidos no RGR, verificando-se a necessidade de adoção de medidas de minimização do ruído de tráfego. Posto isto, é descrita a localização e dimensionamento da barreira acústica, conforme o seguinte quadro:

Designação barreira	Localização (km exploração)	Sentido da via	Extensão linear (m) <sup>1</sup>	Altura (m)	Área (m <sup>2</sup> )	Tipologia	Situações a proteger
BA01	197+809 a 198+036	Sul / Norte	227	5	1.135	Absorvente na face voltada para a via	S1
BA2	197+748 a 198+159	Norte / Sul	411	4	1.644		S2
	198+159 a 198+465	Norte / Sul	306	5	1.530		S3
BA3	201+308 a 201+535	Norte / Sul	227	5	1.135		S4
BA4	204+622 a 205+323	Norte / Sul	701	5	3.505		S5 e S6

Figura 4-1 – Características das barreiras acústicas;

Este estudo salienta a necessidade de as extremidades das barreiras acústicas aplicadas não finalizarem de forma abrupta, mas de forma gradual, de forma a evitar fenómenos de difração que possam traduzir-se em incomodidade para os utentes da via.

Com base nos estudos elaborados, este documento apresenta as características mínimas acústicas que as barreiras acústicas deverão comportar, nomeadamente:

- Isolamento sonoro:  $DL_R \geq 20$  dB (Categoria B2, de acordo com a EN 1793-2, de 2012);
- Absorção sonora na face virada para a via (painéis absorventes):  $DL_\alpha \geq 8$  dB (Categoria A3, de acordo com a EN 1793-1, de 2012);
- Absorção sonora (painéis transparentes/refletores): qualquer (Categoria A0, de acordo com a NP EN 1793-1, de 2012);
- Deverá considerar-se a intercalação de secções de painéis acrílicos transparentes (categoria A0, de acordo com a EN 1793-1 de 2012) a não exceder 10% da área total de cada barreira.

O estudo de ruído é complementado pelas peças desenhadas de localização das barreiras descritas anteriormente.

Outro documento que impõe questões técnicas na seleção da solução a adotar no âmbito da empreitada é o caderno de encargos - cláusulas técnicas especiais. Analisando-se este documento podem descrever-se os seguintes requisitos:

- Os materiais a utilizar nas barreiras acústicas deverão resistir a eventuais atos de vandalismo, assim como ao embate de partículas rochosas eventualmente projetadas;
- Os materiais e elementos a utilizar na constituição da barreira deverão ser homologados para a utilização em causa;
- As barreiras acústicas deverão ter características de segurança que cumpram com o estipulado na norma EN 1794-1, de 2011;
- As secções de barreiras acústicas sobre paisagens inferiores (PI) devem ser constituídas por painéis acrílicos transparentes;
- Todos os materiais constituintes das barreiras (painéis, estruturas de suporte, elementos de fixação, entre outros) deverão apresentar um tempo útil de 20 anos;

De acordo com todas as especificações técnicas descritas anteriormente serão implementadas as barreiras acústicas que se enquadram no pretendido pelo dono de obra.

#### **4.2.4.1 Determinação da solução**

De acordo com as características do dispositivo de ruído pretendido na empreitada, elabora-se uma análise ao desempenho acústico das barreiras acústicas homologadas produzidas pela empresa de forma a compatibilizar com os requisitos técnicos exigidos.

Avaliando as características especificadas pelas peças procedimentais e pelas soluções existentes, optou-se pela aplicação de uma barreira acústica em betão madeira com 23 cm de espessura, constituída por 9 cm de betão estrutural e por 14 cm de betão madeira, intercalados com painéis acrílicos transparentes de 1,5 cm. O sistema de suporte vertical destes elementos será composto por pilares de betão pré-fabricados.

Os painéis de barreira acústica em betão madeira cumprem com as diretivas legais vigentes da União Europeia (Regulamento (UE) n.º 305/2011), sendo certificados por marcação CE.

Para a obtenção da marcação CE, o produto foi sujeito a uma avaliação do seu desempenho do desempenho acústico, capacidade mecânica e de estabilidade, designadamente:

- Ensaio de absorção sonora, realizado segundo EN 1793-1:2012, conforme descrito no subcapítulo 3.4.1 Métodos de Ensaios Laboratoriais;
- Ensaio de isolamento ao ruído aéreo, realizado segundo a EN 1793-2:2012, conforme descrito no subcapítulo 3.4.1 Métodos de Ensaios Laboratoriais;

- Ensaio da capacidade mecânica e requisitos de estabilidade, realizado segundo a EN 1794-1:2011. Verificando-se o cumprimento dos requisitos mecânicos à deformação através da ação do vento e através da ação dinâmica, descritos designadamente no Anexo A e Anexo E da norma.

Através dos ensaios de absorção sonora e de isolamento ao ruído aéreo foram atribuídos índices de classificação conforme a seguinte figura.

Classificação de absorção sonora $D_{1\alpha}$ (dB)	Isolamento a sons aéreos $D_{IR}$ (dB)
$D_{1\alpha} = 9$ dB	$D_{IR} = 41$ dB

Figura 4-2 – Características acústicas da barreira de betão madeira (e=23 cm);

Face aos resultados de desempenho da absorção sonora ( $DL_{\alpha}$ ), foi atribuída a categoria A3 segundo o Anexo A da norma EN 1793-1:2012.

Face aos resultados de desempenho da absorção sonora ( $DL_R$ ), foi atribuída a categoria B4 segundo o Anexo A da norma EN 1793-2:2012.

#### 4.2.5 Modo de execução dos trabalhos

No estudo preliminar é desenvolvido e descrito o modo de execução dos trabalhos, tendo em conta as peças procedimentais fornecidas e os métodos utilizados na instalação de barreiras acústicas.

Tendo em conta os Anexos do caderno de encargos, nomeadamente o Anexo IX – Diretrizes para a elaboração do projeto das condições de execução de obras (PCEO) e o Anexo IV – Plano de Segurança e Saúde (PSS), é definido o procedimento a adotar na montagem de sinalização temporária, antes da elaboração dos trabalhos previstos na empreitada.

De acordo com os trabalhos previstos na empreitada, segundo o caderno de encargos – Cláusulas especiais - são descritos os trabalhos a desenvolver neste âmbito, nomeadamente a desmatização, execução de fundações, aplicação de pilares pré-fabricados, betonagem da fundação, montagem de barreiras acústicas, execução de selagens entre painéis, pinturas e reparações de barreiras acústicas.

A descrição pormenorizada do faseamento construtivo de aplicação de barreiras acústicas, será realizada no subcapítulo 4.5 do presente documento.

#### 4.2.6 Dimensionamento estrutural

Tendo em conta a solução a adotar (aplicação de um sistema de barreiras acústicas suportadas lateralmente por pilares em betão pré-fabricado) procede-se para o dimensionamento estrutural dos pilares pré-fabricados em betão.

Este sistema de barreiras prevê a transmissão e acomodação de cargas, principalmente da ação do vento, ação do sismo e a ação dos veículos. Para o dimensionamento estrutural são utilizados os seguintes elementos:

- Geometria da barreira; Neste caso de estudo foram considerados dois casos de estudo conforme as geometrias previstas no estudo de ruído e caderno de encargos, nomeadamente:
  - Caso 1: 5,0 (m) de afastamento x 5,00 (m) de altura;
  - Caso 2: 5,0 (m) de afastamento x 4,00 (m) de altura.
- Pressão dinâmica do vento; Conjugando os critérios descritos a seguir, calcula-se o valor característico da pressão dinâmica, segundo o Regulamento e Segurança de Ações (RSA) ou Eurocódigo 1 Parte 1-4.
  - Localização da intervenção para a quantificação da ação do vento.
  - Rugosidade aerodinâmica do solo, quantificando a rugosidade no local de instalação de barreiras;
- Quantificação das ações dos veículos segundo a EN 1794-1:2011;
- Características geotécnicas; Na ausência de ensaios e características geotécnicas nas peças procedimentais do concurso, como neste caso de estudo, as características geotécnicas adotadas basearam-se nas observações efetuadas no local;
- Características dos materiais utilizados e as ações atuantes.

Reunida toda a informação necessária, procede-se ao dimensionamento e verificação de segurança da solução proposta, a qual deverá adotar a regulamentação nacional e internacional em vigor.

Inicia-se pelo cálculo das ações e reações do sistema, tanto para o pilar pré-fabricado como para a cabeça da estaca, sendo determinada a ação do vento, a ação do sismo e a ação dos veículos. Após a obtenção das ações e tendo em conta as combinações entre as mesmas, procede-se ao dimensionamento dos pilares e das fundações, calculando-se a armadura a aplicar no elemento.

Através dos valores obtidos anteriormente, procede-se à verificação de segurança, tendo em conta o seguinte:

- Estado limite último resistência à flexão;
- Estado limite último de resistência ao esforço transversal;
- Estado limite de utilização: deformação horizontal ( $<L/150$ ).

Apurando a conformidade do elemento com as verificações de segurança, podemos considerar que a solução a propor é viável e garante as especificações técnicas e regulamentares aplicáveis.

Com esta fase concluída, procede-se ao desenvolvimento das peças desenhadas.

#### **4.2.7 Peças desenhadas**

A peça desenhada do estudo preliminar tem como base as peças procedimentais fornecidas pelo dono de obra na fase de concurso, designadamente as peças de Anexo do estudo do ruído.

As peças desenhadas representam a solução da proposta, através de alçados planificados e pormenores gerais do faseamento construtivo.

Os alçados planificados apresentam a face absorvente, identificam o tipo de barreira, a sua localização e o quadro de materiais. O quadro de materiais apresenta as características dos vários elementos, como por exemplo, o tempo de vida útil, a classe de resistência, recobrimento, exposição ambiental, percentagem de cloretos, diâmetro máximo de agregados e a consistência do betão.

Nos pormenores gerais de faseamento construtivo são descritas as várias fases de execução da proposta e respetivos pormenores. Relativamente às fases de construção, estas serão representadas em formato evolutivo, como a abertura de fundação, aplicação de pilar e medidas de estabilização, a betonagem da fundação e retirada de elementos estabilizadores dos elementos pré-fabricados.

#### **4.2.8 Conclusão do processo**

Concluídas todas as fases de elaboração do estudo prévio, será elaborado um documento único que será constituído por peças escritas e peças desenhadas. Este documentado será complementado pelo termo de responsabilidade do autor do projeto de estabilidade.

Após a conclusão do documento final, o departamento de projeto remete para o departamento comercial.

O comercial afeto à elaboração da proposta, após a receção, agrupa o estudo prévio aos restantes documentos solicitados para a formalização da proposta. O documento de apresentação da proposta segundo as peças procedimentais é constituído por:

- Proposta do Preço Total;
- Lista de preços unitários;
- Resumo geral de medições;
- Cronograma financeiro;

- Plano de trabalhos, equipamentos e mão de obra;
- Habilitação dos técnicos afetos à empreitada;
- Estudo preliminar;
- Nota técnica relativa à gestão da segurança e saúde no trabalho;
- Ficha de análise de risco;
- Plano de Gestão Ambiental;
- Ficha técnica dos materiais;
- Alvará de construção.

Após a compilação de todos os documentos, o comercial procede ao envio da proposta para o dono de obra, no prazo estabelecido, no convite de apresentação de proposta.

A proposta é avaliada conforme os critérios de adjudicação, definidos no convite de apresentação de proposta, tendo em conta o preço da proposta, a qualidade técnica do projeto, a mais valia técnica da proposta, segurança e saúde no trabalho e a gestão ambiental da empreitada.

Em caso de intenção de adjudicação, o convidado será notificado, devendo o candidato no prazo de cinco dias apresentar a documentação descrita no convite à apresentação de proposta, nomeadamente:

- a) Documentos de habilitação do adjudicatário;
- b) Prestação da caução prevista;
- c) Confirmar os compromissos especificados na proposta.

A entidade adjudicante envia ao convidado a minuta do contrato, conforme o definido nas peças procedimentais. Sendo aprovado procede-se à assinatura do contrato entre as duas partes, finalizando assim o processo de adjudicação.

### **4.3 FASE DE PROJETO – PROJETO DE EXECUÇÃO**

Após a consignação da empreitada, precede-se à preparação e planeamento da execução da obra. Estes processos desenvolvem-se no prazo de 30 (trinta) dias após a consignação.

No que diz respeito ao início dos trabalhos, esta preparação deverá ter em conta o Plano de Trabalhos e o Planeamento da Segurança e Saúde em Obra (PSS), sendo desenvolvidos os seguintes procedimentos:

- a) Realização de trabalhos preliminares e de levantamentos topográficos indispensáveis ao início das obras;

- b) Apresentação de dúvidas à Fiscalização, em relação aos materiais, métodos e técnicas a utilizar na execução da obra;
- c) Apresentar o estudo e definição dos processos de construção a realizar na execução da obra;
- d) Apresentação das peças desenhadas dos trabalhos a executar à Fiscalização, nomeadamente pormenores de execução e os elementos do projeto, conforme definido nas cláusulas do caderno de encargos;
- e) Elaboração e apresentação à Fiscalização do modelo de relatório a implementar na área de gestão e segurança do trabalho, segundo caderno de encargos;
- f) Apresentação à Fiscalização do Plano de Gestão Ambiental (PGA), segundo caderno de encargos;
- g) Apresentação à Fiscalização do mapa de percursos de obra na rede rodoviária nacional e municipal, segundo caderno de encargos.

O início dos trabalhos preliminares de montagem de estaleiro ou outros está condicionado pela aprovação do desenvolvimento e especificações do Plano de Segurança e Saúde (DEPSS).

Conforme descrito na alínea a) Levantamentos topográficos e na alínea d) Apresentação de projetos, torna-se necessária a conjugação destes dois elementos, pelo que será necessário elaborar-se um projeto de execução sucinto que preveja as condicionantes e descreva os procedimentos a adotar na execução dos trabalhos.

#### **4.3.1 Trabalhos preliminares**

Na elaboração de um projeto de execução de barreiras acústicas é importante ter como base documentos fidedignos das características planimétricas da situação existente do local da intervenção, permitindo assim, avaliar a solução a adotar e planear ao pormenor a sua aplicação tendo em conta as suas condicionantes.

Posto isto, é elaborado um levantamento topográfico, o qual permitirá obter uma planta altimétrica do local. Nesta planta são descritas as características geográficas do local, através de curvas de nível, as quais permitem a verificação dos desníveis do terreno. Este levantamento também permite a localização de condicionantes à execução da obra.

Com base na informação representada no levantamento topográfico, e considerando o local previsto de implantação das barreiras acústicas, é elaborado um alçado planimétrico e avaliada a implantação das mesmas.

De forma a avaliar os parâmetros geotécnicos do terreno é realizada uma campanha geotécnica para conferir a litologia e as características dos solos de fundação do local de implantação das barreiras.

Neste caso de estudo realizou-se ensaios de penetração dinâmica (PDM), devido à dificuldade de acesso ao local de implantação, no qual se obteve as características geológicas e geotécnicas do terreno que auxiliarão na determinação da tipologia de fundação e o respetivo dimensionamento.

#### **4.3.2 Projeto de Execução**

Na fase de concurso, tal como descrito anteriormente, foi elaborado um estudo preliminar que descrevia de forma genérica e global a solução técnica a adotar, as condicionantes de execução dos trabalhos e o seu dimensionamento estrutural.

Na fase execução dos trabalhos há a necessidade de se desenvolver um estudo preliminar elaborado, o qual descreva de forma pormenorizada os trabalhos a executar e as metodologias de aplicação, de forma a que não surjam dúvidas na execução dos trabalhos.

Como base na elaboração do projeto de execução, considera-se os elementos base descritos no estudo preliminar (processo contratual e visita ao local) e o levantamento topográfico realizado após a consignação.

Tendo sido realizado o levantamento topográfico e a campanha de prospeção geotécnica, o projeto de execução foi elaborado conforme as condições reais do terreno, as condicionantes existentes e os limites de expropriação. Respeitando igualmente todas as características dos taludes existentes, tais como, a sua geometria e as características geológicas-geotécnicas.

A solução adotada no estudo preliminar é mantida, pelo que é constituída por pilares pré-fabricados em betão armado nos quais serão assentes lateralmente os painéis acústicos. Será acrescentada uma solução na interseção das barreiras nas zonas de obra de arte, em que será aplicado um montante metálico. O projeto de execução descreve a solução adotada, tanto na memória descritiva, como nas peças desenhadas.

Tal como referido no estudo preliminar, o elemento de fundação será executado de forma indireta em situações não rochosas, através de furo por trado. Neste projeto, o diâmetro (600 mm) e a profundidade são definidas conforme o dimensionamento elaborado e constante no projeto de execução. Caso contrário, a fundação será direta através de uma sapata. A execução deste tipo de trabalhos são parte integrante do projeto.

### 4.3.3 Condicionalismos verificados

Conforme descrito no estudo preliminar, e após consignação, seriam descritos os condicionalismos verificados de forma pormenorizada. Neste caso podem-se constatar os condicionalismos na Figura 4-3.

<b>Barreira</b>	<b>Condicionantes</b>
BA01	Intersecção com a P.I. 1 (289)
BA02	Intersecção com a P.I. 1 (289) Maciço de betão Maciço de betão (pórtico informativo) Poste de SOS (não interfere, localiza-se no exterior da barreira) Intersecção com a P.I. 2 (291)
BA03	Linha de média tensão
BA04	Maciço de betão (sinalização) Intersecção com a P.I. 7 (300)

Figura 4-3 – Tabela de condicionalismos conforme a tipologia das barreiras;

Para além dos condicionalismos referido anteriormente, foram também detetadas redes de drenagem no local de intervenção. Não sendo possível a verificação de outras condicionantes na implantação das barreiras (e.g., infraestruturas enterradas ou outras situações não previstas inicialmente) será realizado um levantamento de condicionantes antes da execução dos trabalhos, remetendo-se as devidas informações às entidades competentes.

### 4.3.4 Projeto de Estabilidade

Conforme descrito no subcapítulo do estudo preliminar, no projeto de estabilidade para o sistema de barreiras acústicas são dimensionados os elementos verticais, através de combinações fundamentais das ações do vento, sismo e do veículo (tráfego). Assim, verifica-se a sua segurança, conforme os estados limites últimos e de utilização.

No estudo preliminar foi efetuado apenas o dimensionamento dos pilares pré-fabricados em betão e das respetivas fundações. No projeto de execução foi integrado o dimensionamento dos pilares metálicos, montantes dos painéis acrílicos e os respetivos painéis, tendo sido aplicadas as normas legais em vigor.

### 4.3.5 Projeto de Manuseamento e Montagem em Obra

O projeto de manuseamento e de montagem em obra tem como âmbito o dimensionamento dos equipamentos de elevação integrados nas peças pré-fabricadas durante a sua betonagem, de forma a que o elemento seja transportado e instalado sem colocar em causa a segurança dos seus intervenientes. O dimensionamento tem em consideração os seguintes fatores:

- Peso volúmico do elemento; É importante para a definição do acessório a aplicar. Os acessórios de elevação são devidamente dimensionados e homologados consoante o peso característico que podem elevar em segurança;
- Espessura do elemento; Segundo os catálogos dos fabricantes, a determinação do acessório é condicionada pela espessura mínima de segurança definida pelo fabricante;
- Afastamento da extremidade; Segundo os catálogos definidos pelos fabricantes, determinação do acessório é realizada pelo seu afastamento;
- Ângulo dos meios de ação no transporte do elemento; O posicionamento correto dos meios auxiliares de elevação (e.g., correntes ou fitas incorporadas com o negativo do acessório instalado para a elevação deste) é descrito pelo fabricante do acessório de elevação.

Face ao exposto, e tendo em conta a segurança dos trabalhos e intervenientes, desde a produção à aplicação das barreiras acústicas e o seu sistema, é uma peça fundamental, havendo a necessidade de planear a sua aplicação, como por exemplo, o transporte e os equipamentos necessários para a sua instalação.

#### **4.3.6 Revisão de projeto**

Durante o desenvolvimento dos trabalhos poderá ser requisitado pelo dono de obra esclarecimentos sobre o projeto e, caso se justifique, a revisão do projeto, tendo em conta a implantação das barreiras, erros, omissões e alterações de soluções técnicas previstas inicialmente.

O autor de projeto está obrigado a prestar a assistência técnica à obra conforme descrito em contrato e de acordo com as normas e regulamentares em vigor, nomeadamente o art.º 12 da lei nº 40/ 2015.

No caso de estudo foi elaborado um aditamento ao projeto tendo em conta a uma alteração solicitada pelo dono de obra relativamente à alteração da solução de fixação de painéis acrílicos em zona de obra de arte. Face à solicitação, foi elaborado um estudo técnico da ligação entre montantes metálicos e os painéis em acrílico, tendo o mesmo sido aprovado pelo dono de obra.

Face ao exposto anteriormente, o projeto de execução é elaborado tendo em conta todas as condicionantes, técnicas e o plano dos trabalhos a executar, quer no fabrico ou na instalação das barreiras, posto isto, irei proceder para a descrição dos métodos de fabrico e transporte do produto para o seu local de serviço.

Na fase final da empreitada, case se justifique, são entregues as telas finais de execução da empreitada, pormenorizando situações não previstas e descritas nas revisões anteriores. O documento é parte integrante da compilação técnica final.

#### 4.4 FABRICO E TRANSPORTE

A emissão de fabrico do produto inicia através da aprovação do projeto de execução pelo dono de obra e indicação do departamento comercial ao departamento do projeto, conforme indicado no subcapítulo 2.2.4 do presente documento.

O departamento de projeto inicia com a elaboração das fichas de produto a remeter ao departamento de operações, para início do planeamento de pré-fabricação das barreiras acústicas e sua expedição.

##### 4.4.1 Fichas de produto

A elaboração de fichas de produto tem como objetivo a descrição pormenorizada do produto a pré-fabricar, indicando todas as suas características, tais como, a sua composição, geometria e acessórios de elevação e movimentação a aplicar.

As composições de betão utilizadas na fabricação do produto, são devidamente estudadas e avaliadas, visando a garantia das características do produto considerando o seu estado fresco como o endurecimento. Considerando a densidade, resistência, coesão, minimização da exsudação, entre outros.

A barreira acústica adotada no âmbito desta empreitada, é composta por um painel em betão estrutural com 0.09 m de espessura e por uma superfície de betão madeira com secção variável, com uma espessura máximo de 0.14 m e mínima de 0.08 m e com um comprimento variável, tendo uma espessura total de 0.23 m e dois tipos de comprimentos e alturas, nomeadamente 5x5 m e de 5x4 m, as próximas figuras apresentam o corte longitudinal do painel acústico e um pormenor.

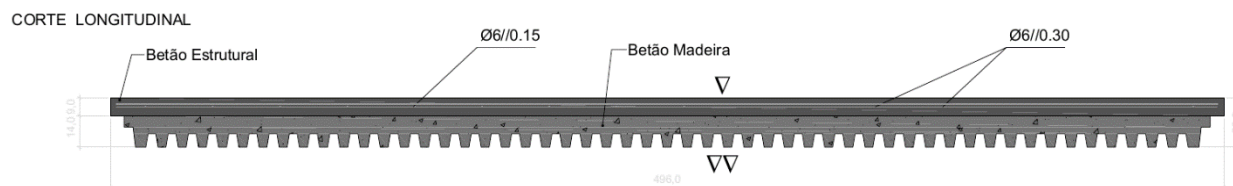


Figura 4-4 – Corte Longitudinal do painel;

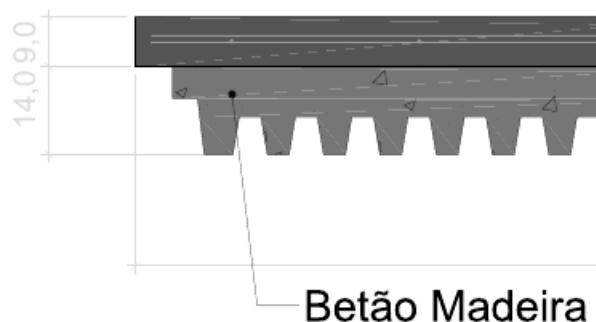


Figura 4-5 – Pormenor da barreira em betão madeira;

Os materiais preconizados para a face resistente das barreiras tem as seguintes características:

- Classe de resistência à compressão – Betão C25/30;
- Dimensão máxima do inerte – 22mm;
- Classe de teor de cloretos – Cl 0.10 (Cl < 0.10 % por massa de cimento);
- Aço estrutural – A500NR SD/EL;
- Classe de exposição – XC2 (P);
- Classe de consistência – S1;
- Recobrimento mínimo – 30 mm.

Para a obtenção da certificação CE do produto foram elaborados dimensionamentos mecânicos com as características descritas nas figuras anteriores e contabilizando as ações do vento, sismo e do tráfego, verificando a segurança do produto aos estados limites últimos e de fissuração, tendo-se verificado a viabilidade da solução.

Consoante o peso do produto, centro de gravidade, processo de fabrico e aplicação, é descrito o tipo de acessório de elevação a utilizar.

Na ficha de produto é descrito através de peças desenhadas a geometria do produto e a aplicação dos acessórios de elevação, nomeadamente a sua altura, comprimento, espessuras, diagonais e a localização exata dos acessórios de elevação, estas são descritas em centímetros com uma casa decimal. No âmbito da norma ISO 9001 e de forma a garantir a qualidade do produto, a ficha contém tolerâncias geométricas a cumprir pela produção, não devendo estas ser excedidas. A equipa técnica de laboratório verifica a conformidade do produto de acordo com o especificado, e em caso de incumprimento é aberta uma não conformidade.

Concluída a elaboração da ficha de produto, esta é emitida e entregue ao departamento de operações para o início do planeamento de fabrico, com definição dos meios a utilizar e os prazos de fabrico. As

previsões de conclusão são transmitidas aos intervenientes de forma a harmonizar o planeamento dos trabalhos de produção em fábrica e “in situ”.

#### 4.4.2 Fabrico

Apos a emissão e entrega da ficha de produto ao departamento de operações, procede-se com o planeamento de todos os trabalhos necessários para a sua execução, tendo em conta as normas regulamentares aplicáveis em vigor, nomeadamente, EN 13369 (Regras gerais para produtos pré-fabricados de betão) e EN 14388 (Especificações de dispositivos de ruído de tráfego rodoviário), sendo elaborados os seguintes trabalhos:

1. **Preparação de armaduras;** Conforme descrito no subcapítulo 2.2.4 do presente documento;
2. **Planeamento e definição do molde;** O molde utilizado para a produção deste elemento é particular, ou seja, fabricado especialmente para a produção destes elementos, contendo uma geometria pré-definida para a sua execução, constituído por travessas que irão definir a geometria dos acabamentos pretendidos;
3. **Preparação do molde para a betonagem;** Limpeza do molde, remoção de gorduras que possam manchar a face visível. A limpeza é feita manualmente com palha de aço e/ou desperdícios. Evitando o desgaste da superfície da chapa para que esta não tenha tendência a oxidar. No final da limpeza, utiliza-se ar comprimido para afastar particular soltas. Posteriormente, aplicação do óleo descofrante de forma uniformemente distribuída em toda a superfície de contacto do molde. Por fim, verificar se todas as portas do molde estão fechadas corretamente antes da fase de betonagem.



Figura 4-6 – Molde de barreiras acústicas e equipamentos de auxílio;

- 4. Betonagem de primeira fase (betão madeira);** Descargas de betão madeira no molde e distribuição por toda a área do molde. O tempo de espera entre as descargas é o mínimo possível. Após o betão estar todo espalhado no molde e a passagem da régua ter regulado a quantidade do betão pelo molde, é feita uma primeira compactação sobre betão em toda a área do molde, tendo especial atenção nas zonas dos favos (zonas mais baixas do molde). Por fim, por arrastamento, é passada a placa vibradora, correspondente ao betão madeira, em toda a área do molde.



Figura 4-7 – Placa vibratória de compactação para o betão madeira;

- 5. Aplicação da armadura;** A armadura e acessórios são colocados de acordo com o especificado na ficha de produto, sendo aplicadas no betão estrutural.



Figura 4-8 – Exemplo de disposição de armadura e acessórios;

6. **Betonagem de segunda fase (betão estrutural);** Descargas de betão na parcela estrutural do molde e distribuição por toda a sua área. O tempo de espera entre descargas é o mínimo possível. Após o betão estar todo espalhado no molde, é realizada a compactação por toda a sua área com o auxílio de uma placa vibratória correspondente ao betão estrutural.



Figura 4-9 – Placa vibratória de compactação para o betão estrutural;

7. **Execução de acabamentos;** A altura do betão estrutural é definida através da passagem de uma régua alisadora, removendo os excessos ou adicionando betão. Execução de acabamento através da passagem de rolo e talocha, tendo em atenção o acabamento na localização dos acessórios de elevação, de forma a que não fiquem com a superfície fissurada e para que na desmoldagem a peça não seja danificada;



Figura 4-10 – Acabamento da superfície e localização dos acessórios de elevação;

8. **Cura no molde;** Conforme descrito no subcapítulo 2.2.4 do presente documento;
9. **Desmoldagem;** Desapertando as portas laterais do molde e retirando a peça com ajuda de uma barra de extração, sendo transportada através de ponte rolante até ao transbordador para que seja aplicada no “vira peças” com a face de betão madeira virada para baixo. A peça é encaixada nos suportes de madeira entre os favos para não danificar a peça.

**10. Armazenamento ou Stockagem;** conforme descrito no subcapítulo 2.2.4 do presente documento, a peça é transportada para stock na vertical através da utilização dos acessórios de elevação;

**11. Expedição;** conforme descrito no subcapítulo 2.2.4 do presente documento;

**12. Montagem;** conforme descrito no subcapítulo 2.2.4 do presente documento, o procedimento será descrito posteriormente.

Os pilares pré-fabricados integrados na solução adotada para o caso de estudo, são fabricados de acordo com o descrito no subcapítulo 2.2.4 do presente documento.

## **4.5 CONSTRUÇÃO**

O planeamento e a metodologia de execução dos trabalhos encontram-se descrito nas peças escritas do processo de obra, nomeadamente no projeto de execução, plano de segurança e saúde (PSS), plano de trabalhos, plano de gestão ambiental, entre outros. Após a consignação da empreitada são iniciados todos os trabalhos previstos e neste subcapítulo serão descritos de uma forma geral os trabalhos realizados na empreitada em estudo.

Neste caso de estudo, conforme indicado anteriormente, encontra-se prevista a instalação de barreiras acústicas absorventes a ser instaladas num sublanço de autoestrada, incluindo todos os trabalhos de construção civil necessários, nomeadamente:

1. Movimentação de terras;
2. Execução de fundações;
3. Execução de órgãos de drenagem e compatibilização com o existente;
4. Fornecimento e montagem de guardas de segurança, quando as barreiras se situarem entre 1.20 m e 3.00 m do limite exterior da berma;
5. Execução de outros elementos resistentes e de proteção, quando necessários;

### **4.5.1 Execução dos trabalhos**

Tal como referido anteriormente, neste subcapítulo serão descritos os trabalhos realizados em obra e a metodologia usada na sua execução, começando com a montagem de sinalização temporária.

#### 4.5.1.1 Montagem de Sinalização temporária

Para a execução dos trabalhos inerentes ao caso de estudo foi prevista a necessidade de interdição da berma e de redução da faixa de rodagem mais à direita do sublanço da autoestrada, para a instalação das barreiras acústicas, sendo necessária a aplicação de sinalização temporária de modo a advertir os utilizadores da infraestrutura.

A montagem de sinalização temporária para a elaboração dos trabalhos, foi executada de acordo com o DL 22A/98, referente à sinalização vertical, horizontal e outros equipamentos necessários, incluindo o fornecimento, implantação e instalação. Este trabalho é descrito no PSS, PCEO e projeto de execução desta empreitada, tendo sido elaborados conforme as peças procedimentais fornecidas pelo dono de obra, todas as operações serão efetuadas em coordenação da operadora.

Para a implementação de todos os esquemas de sinalização e circulação deverão ser consideradas as regras que asseguram o controlo de tráfego, a segurança de todos os utentes da via e dos intervenientes dos trabalhos, devendo seguir os seguintes procedimentos:

- Informar atempadamente o início dos trabalhos, em conformidade com o descrito nas peças procedimentais de contrato;
- Proceder a aplicação da sinalização, segundo uma ordem: pré-sinalização, sinalização avançada e sinalização intermedia;
- Levantamento da sinalização vertical e remoção ou ocultação da existente que entre em contradição com a temporária;
- Delimitar o espaço encerrado ao tráfego com a colocação de sinalização de posição e sinalização final.

O procedimento de montagem da sinalização temporária será de acordo com a planta de sinalização temporária constante no processo da empreitada, considerando as seguintes medidas:

- Escolher previamente a sinalização a aplicar de acordo com o planeamento;
- Os equipamentos sinaléticos deverão ser descarregados manualmente por operários e colocados no local previsto. Os operários não poderão saltar da carrinha em andamento nem atirar os sinais para o pavimento, devendo sair do veículo sempre do lado contrário à circulação do trânsito;
- A sinalização temporária deverá ser montada pela ordem em que os utentes da via a vão encontrar. A sinalização definitiva deve ser ocultada até ao final dos trabalhos de forma a não haver conflitos de interpretação das condições existentes.



Figura 4-11 – Sinalização temporária;

Apos a conclusão dos trabalhos, procede-se à remoção da sinalização temporária, este trabalho deverá ser realizado tendo em consideração o seguinte:

- A sinalização temporária deverá ser retirada imediatamente após a conclusão dos trabalhos, restituindo-se a via às normais condições de circulação;
- Informar atempadamente, em conformidade com as peças procedimentais do processo e definido em contrato;
- A sinalização deverá ser coerente em toda a fase de intervenção, ou seja, deve harmonizar com a sinalização existente, sem contradições;

Esta tarefa é executada, sempre que seja necessária a utilização parcial do sublanço de autoestrada para a execução de trabalhos.

#### 4.5.1.2 Desmatção

Conforme previsto nas peças procedimentais do processo, foi executada a limpeza e remoção da vegetação na zona de implementação das barreiras acústicas, numa faixa de 0,5 m, medidos para cada lado da barreira.

## CAPÍTULO 4

Em situações de presença de espécies protegidas e classificadas como de interesse, definidas por legislação em vigor, serão adotados procedimentos especiais.

Este trabalho é executado manualmente ou com recurso a uma Giratória de Pneus, o transporte é realizado através de camião de 3 eixos.



Figura 4-12 – Desmatação manual;

### 4.5.1.3 Execução de fundações

Os painéis acústicos, betão e acrílicos, são fixados em pilares pré-fabricados, que constituem os Montantes e serão fundados através de fundações indiretas (estacas) devido as características do solo existentes.

As fundações das barreiras são realizadas por meio de estacas (fundações indiretas), ou seja, os pilares pré-fabricados, são fundados no terreno através de estacas de betão com diâmetro de 0,50m, e profundidades que variam de acordo com as situações a contatar na sua execução, visto que não foi elaborada a prospeção geotécnica. Este trabalho é executado com recurso a uma giratória com trado hidráulico.



Figura 4-13 – Execução de estacas com trado hidráulico;

Sempre que as características do solo não permitam a execução de fundações indiretas, estes serão substituídos pela execução de sapatas isoladas ou pela execução de uma viga longitudinal. Nas peças desenhadas do projeto é apresentado de forma pormenorizada a fixação do pilar, no entanto, o dimensionamento detalhado é apresentado antes do início dos trabalhos, quando reunidas todas as informações necessárias sobre as características existentes do tipo de solo. Na execução deste trabalho é incluído todos os trabalhos de armação de ferro e cofragens.

#### **4.5.1.4 Aplicação de pilares pré-fabricados.**

Depois de executados os trabalhos de fundação, procede-se à aplicação do pilar.

O pilar após ser produzido em fábrica é transportado por camiões trailer até ao local previsto. Chegando ao local de entrada de serviço, será descarregado e posteriormente aplicado no seu local definitivo.

A verticalização e aplicação dos pilares é executada através de um camião grua.



Figura 4-14 – Aplicação de pilares pré-fabricados através de camião grua;

#### 4.5.1.5 Betonagem da fundação

Apos a aplicação do pilar no seu local de entrada em serviço, devidamente posicionado e escorado, é realizada a selagem e unificação do elemento com a sua fundação através de betão pronto. O escoramento do pilar é mantido até que o material de preenchimento / selagem do pilar com a fundação garanta as condições de resistência pré-definidas em projeto.



Figura 4-15 – Betonagem da fundação;

#### 4.5.1.6 Montagem de painéis acústicos

Os painéis acústicos, serão aplicados com recurso a camião grua sendo que os mesmos serão descarregados dos camiões diretamente para o local de implementação da barreira.



Figura 4-16 – Painéis acústicos;

Em situações especificadas em projeto, é aplicado painéis acrílicos incorporados no sistema de barreiras acústicas intercalados com os painéis de betão.

Por forma a evitar a utilização de escadas, minimizando o risco de queda em altura, sempre que a barreira tenha uma altura superior a 2,00 ml é utilizada uma plataforma elevatória para auxiliar a aplicação dos painéis.

Sempre que os painéis acústicos e/ou pilar, interfiram com o “fácil” acesso a qualquer infraestrutura existente (postes de Iluminação Pública e/ou valeta de drenagem pluvial), são criados mecanismos para que estes continuem a funcionar sem qualquer interferência.

No caso concreto dos postes de Iluminação publica é criada uma janela que permite o simples e fácil acesso à portilha do poste de forma a permitir a sua manutenção. A janela é composta por um aro metálico galvanizado que será posteriormente pintado em RAL a definir e por um painel acrílico transparente de espessura de 15mm.



Figura 4-17 – Janela de acesso à portilha do poste de iluminação pública;

#### 4.5.1.7 Execução de selagem entre painéis

Sobre o painel inferior será sempre aplicada uma borracha tipo EPDM com adesivo. A aplicação deste material tem como objetivo a colmatar as eventuais frinchas ou aberturas entre painéis, que possam influenciar negativamente no desempenho das barreiras acústicas.



Figura 4-18 – Aplicação de painéis acústicos com borracha tipo EPDM;

#### 4.5.1.8 Pintura de painéis acústicos

Quando previsto na empreitada a integração paisagística das barreiras acústicas, os painéis serão pintados depois de terminada a sua aplicação ou em situações de dificuldade da execução destes trabalhos no local, o painel é pintado em fábrica.



Figura 4-19- Pintura dos painéis acústicos in situ;

#### 4.5.2 Avaliação da eficácia

No âmbito da empreitada, conforme previsto foram realizados ensaios de campo para a comprovação da eficácia de todas as barreiras acústicas, através da medição de ruído, de acordo com os parâmetros definidos em legislação em vigor, numa amostragem a aprovar pela fiscalização e segundo a metodologia descrita na ISO 10847:1997 (Acoustics. In-Situ determination of insertion loss of outdoor noise barriers of all types), utilizando o designado “método direto”.

Conforme descrito no subcapítulo 3.4.2 - Métodos de Ensaio in situ, o método direto consiste na avaliação da perda por inserção de barreiras acústicas, considerando os níveis de pressão sonora antes e depois da instalação da barreira.

Os ensaios foram elaborados por uma entidade externa, recorrendo a vários equipamentos, como, Sonómetro integrador, microfone, calibradores acústicos, dispositivos de proteção contra a ação do vento, termohigrómetro, anemómetro, barómetro e fita métrica, devidamente calibrados e certificados.

Para a avaliação da perda por inserção da barreira acústica, são realizados diversos conjuntos de medições dos níveis de pressão sonora numa posição de referência (neste caso, ponto de medição com altura de

1,5 m acima do topo da barreira acústica e localizado num plano vertical que inclui a barreira) e na posição de um recetor (neste caso, ponto de medição com altura de 1,2 m), antes e depois da instalação da barreira acústica, considerando uma fonte sonora natural (ruído de tráfego proveniente da circulação rodoviária), verificando a equivalência acústica antes e depois da instalação da barreira através de contagens de passagens de veículos. Para cada medição, foram registados os níveis de pressão sonora, L (dB(A)), em bandas de frequência de 1/3 oitava, com ponderação "A", determinando a perda por inserção da barreira acústica através da diferença entre os níveis de pressão sonora registados antes e depois da instalação da barreira acústica.



Figura 4-20 – Elaboração de medições antes da aplicação das barreiras acústicas, equipamento recetor – microfone;



Figura 4-21 -. Elaboração de medições após a aplicação de barreiras acústicas, equipamento recetor -  
microfone;

Tendo se verificado que a perda por inserção da barreira é variável, tendo um bom desempenho para as frequências altas, neste caso, vou apresentar os resultados da barreira acústica BA01 através da seguinte figura.

Freq. (Hz)	50	63	80	100	125	160	200	250	315	400	500
$D_{IL}$ (dB(A))	4,5	6,6	3,6	4,4	9,1	8,5	5,3	6,1	5,9	7,4	8,4
Freq. (Hz)	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150	4000	5000	$D_{ILAeq}$
$D_{IL}$ (dB(A))	6,2	4,7	3,5	2,7	2,3	4,4	5,3	6,6	6,4	8,6	5

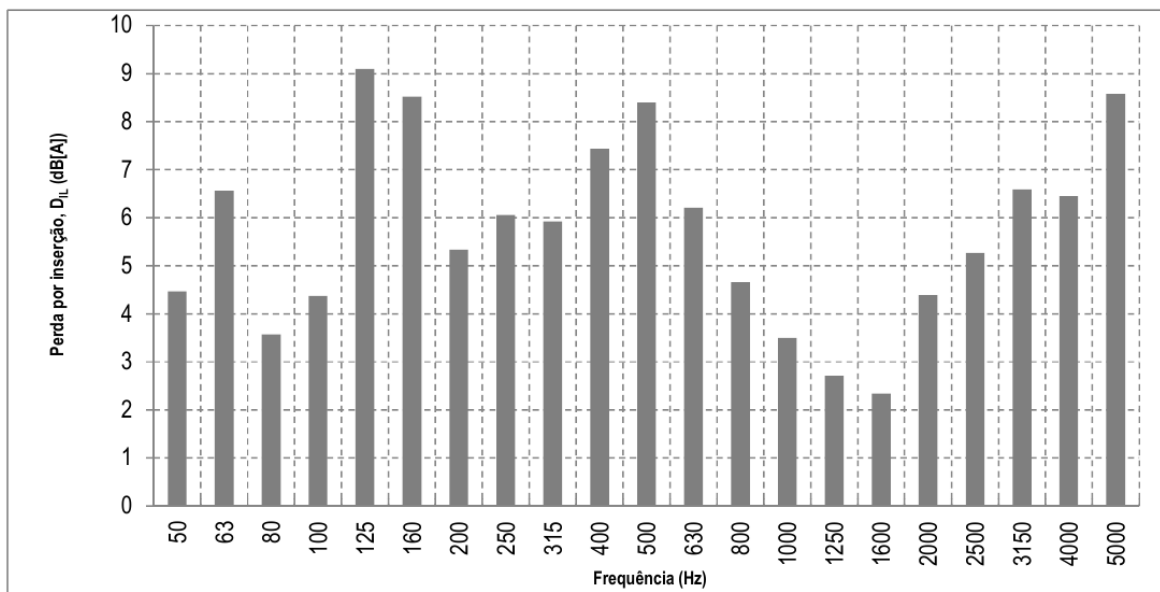


Figura 4-22 – Resultados obtidos no ensaio da barreira BA01;

### 4.5.3 Receção dos trabalhos e liquidação da obra

Concluídos todos os trabalhos previstos na empreitada e comprovada a sua eficácia, é dado o início da receção provisoria e definitiva da obra.

A receção provisoria da obra depende da realização de vistoria que deve ser efetuada logo que a obra esteja concluída na integra ou em parte, mediante a solicitação do empreiteiro ou por iniciativa do dono de obra, tendo em conta os prazos definidos para a conclusão da empreitada.

A vistoria é realizada pelo dono de obra com a colaboração do empreiteiro, tendo como objetivo:

- Verificar se todas as obrigações contratuais do empreiteiro foram cumpridas de forma integra e perfeita;
- Atestar a correta execução do plano de prevenção e gestão de resíduos da construção e demolição, conforme legislação aplicável;
- Verificar quaisquer condições que o dono de obra julgue necessários impor, nos termos dos documentos procedimentais da empreitada.

Apos visita ao local, o auto de receção provisoria é assinado pelos intervenientes, declarando se a obra esta em todo ou uma parte, em condições de ser recebida.

É considerado que a obra não esta em condições de ser rececionada, se o dono de obra considerar que não cumpre com a correta execução de acordo com o plano de prevenção e gestão de ruídos de construção e demolição. Os defeitos e detetados são descritos no auto, sendo consignada a não receção da obra. O empreiteiro é comunicado, para a correção dos defeitos identificados num determinado prazo.

Estando todos trabalhos exigidos concluídos, dá-se início a novo procedimento de receção provisoria.

O dono de obra tem o direito de não receber provisoriamente a obra, caso o empreiteiro não tenha fornecido todos os elementos necessários da compilação técnica, conforme peças procedimentais da empreitada e constante no art.º 16, do Decreto-Lei nº 273/2003.

Após a data de assinatura do auto de receção provisória, inicia o prazo de garantia, em que o empreiteiro está obrigado a corrigir todos os defeitos da obra, segundo o CCP, Decreto-Lei nº 18/2008.

Neste caso de estudo, o prazo de garantia dos elementos de obra, são os seguintes:

- a) Defeitos relativos a elementos estruturais, garantia de 10 (dez) anos;
- b) Defeitos relativos a elementos construtivos não estruturais ou instalações elétricas, garantia de 5 (cinco) anos;
- c) Defeitos relativos a equipamentos automatizáveis afetos à obra, 2 (dois) anos de garantia;

Durante o prazo de garantia, o empreiteiro é obrigado à substituição de materiais ou equipamentos e à reparação de elementos indispensáveis no âmbito da empreitada.

Terminando o prazo de garantia de todo o conjunto ou de uma parte é realizada uma nova vistoria para efeitos da receção definitiva da empreitada, sendo elaborado um auto de com a descrição do cumprimento do empreiteiro face ao previsto na fase de garantia.

A conta final da empreitada é elaborada após os procedimentos definidos anteriormente, no qual constam, todos os mapas financeiros desenvolvidos durante a empreitada, apresentando os valores globais da empreitada, as medições e revisões, os mapas de trabalho a mais ou a menos, entre outros, indicando os preços unitários e os seus valores globais.

Podendo as duas entidades concordarem com estes documentos ou não, elaborando reclamações devidamente fundamentadas.

Havendo acordo mútuo da conclusão da empreitada e finalizado todos os procedimentos burocráticos associados, assinando a conta final, o dono de obra envia ao Instituto de Construção e do imobiliário o relatório final da obra, conforme o modelo apresentado no Anexo V da portaria nº. 701-E/2008.



## CAPÍTULO 5

### **ANALISE COMPARATIVA ENTRE BARREIRAS ACÚSTICAS**

Neste capítulo pretende-se realizar uma análise comparativa do desempenho acústico, mecânico e comercial das barreiras acústicas produzidas pela Farcimar, S.A, tendo em conta a solução adotada para o caso de estudo e as soluções alternativas.

A Farcimar, S.A. apresenta várias soluções para a redução de ruído, sendo estas compostas por diferentes materiais e com geometrias especialmente desenhadas para a redução dos níveis de ruído ambiental. São produzidas e comercializadas barreiras acústicas refletoras e absorventes.

As barreiras acústicas refletoras são compostas por um painel em betão armado com acabamento liso, desempenhando uma redução do ruído através da reflexão. Apresenta custos reduzidos de aquisição e manutenção, facilidade de aplicação, elevada resistência, durabilidade e boa integração paisagística.

As barreiras acústicas absorventes são compostas por uma camada de betão estrutural e uma camada de betão poroso com capacidade absorvente. Tem uma geometria moldada em forma de dente, permitindo o aumento do seu desempenho à absorção sonora.

Tendo como objetivo o aumento da capacidade de absorção, da sustentabilidade e da eficiência das barreiras acústicas, a Farcimar, S.A. desenvolveu diversas composições da camada de absorção com materiais alternativos. Assim sendo, apresenta um conjunto de barreiras acústicas inovadoras que cumprem com os requisitos regulamentares de absorção sonora, isolamento aos sons aéreos, características mecânicas, entre outros. Estas são constituídas por:

- Betão – Poroso;
- Betão – Madeira;
- Betão – Borracha.

Para a avaliação da durabilidade, as barreiras indicadas anteriormente cumprem com os requisitos da EN 14388:2015 – Dispositivos de redução do ruído de tráfego rodoviário – Especificações. Os ensaios de avaliação do seu desempenho foram realizados segundo as normas EN 1793-2:2012 – Características intrínsecas do isolamento a sons aéreos e EN 1793-1:2012 – Características intrínsecas da absorção

sonora. Os requisitos mecânicos foram avaliados segundo a norma EN 1794-1:2011 – Requisitos mecânicos de desempenho e estabilidade e os requisitos ambientais e de segurança segundo a EN 1794-2:2011 – Requisitos gerais de segurança e ambientais.

De acordo com os ensaios e estudos elaborados, as barreiras acústicas podem ser fabricadas com diversas características geométricas pré-definidas, havendo um limite de altura e comprimento em função dos moldes que a empresa possui. Relativamente aos seus acabamentos, tendo em conta a integração paisagística, as barreiras acústicas podem ser fornecidas na cor natural do betão (cinzento), pigmentadas ou ser pintadas em fábrica ou *in situ*.

As soluções e barreiras acústicas de betão da Farcimar, S.A. apresentam as seguintes vantagens:

- Bom desempenho face à absorção acústica e isolamento aos sons aéreos, especialmente em altas frequências (emitidas por tráfego ligeiro);
- Excelentes características de isolamento acústico, devido à sua composição;
- Manutenção reduzida, devido à sua durabilidade, permitindo uma redução de custos a longo prazo sobre o ativo;
- Adaptabilidade da sua resistência em ambientes quimicamente agressivos;
- Simples manutenção das propriedades isolantes e absorventes ao longo do tempo;
- Permite uma integração paisagística e arquitetónica conforme o local de instalação, devido à sua geometria e possibilidade de fabrico ou pintura em diferentes cores;
- Antivandalismo, uma vez que o seu acabamento dentado e poroso dificulta a elaboração de arte de rua (*grafitis*);
- Facilidade na adaptação às condições do terreno e o reduzido tempo de instalação;
- Material de baixo impacto ambiental, reciclável e sem desperdícios.

No próximo subcapítulo será desenvolvida a análise comparativa entre as barreiras acústicas, tendo como base as características geométricas, acústicas, mecânicas e o seu preço associado.

## 5.1 BARREIRAS ACÚSTICAS EM ANÁLISE

Este subcapítulo tem como objetivo elaborar uma análise comparativa entre as diferentes barreiras acústicas, tendo em conta os parâmetros já descritos anteriormente.

	Tipo de Barreira acústica			Regulamentação aplicável
	Barreira acústica de betão poroso (esp= 22 cm)	Barreira acústica de betão madeira (esp= 22 cm)	Barreira acústica de betão borracha (esp= 22 cm)	
Comprimento x largura ->	3,96 x 2,00 m	3,96 x 2,00 m	3,96 x 2,00 m	
Características				
<b>Peso próprio:</b>				
Peso seco	425,0 Kg/m <sup>2</sup>	318,20 Kg/m <sup>2</sup>	316,37 Kg/m <sup>2</sup>	EN 1794-1:2011
peso húmido reduzido	463,0 Kg/m <sup>2</sup>	345,94 Kg/m <sup>2</sup>	343,95 Kg/m <sup>2</sup>	EN 1794-1:2011
Peso húmido	-	-	-	EN 1794-1:2011
<b>Resistência às cargas:</b>				
Carga vertical máxima	30 KN/m	30 KN/m	30,0 KN/m	EN 1794-1:2011
carga do vento estática	1,63 KN/m <sup>2</sup>	1,63 KN/m <sup>2</sup>	1,63 KN/m <sup>2</sup>	EN 1794-1:2011
carga dinâmica à remoção de neve	2,13 KN/m <sup>2</sup>	2,13 KN/m <sup>2</sup>	2,13 KN/m <sup>2</sup>	EN 1794-1:2011
<b>Características acústicas:</b>				
Absorção sonora	DL $\alpha$ = 6 Db (categoria A2)	DL $\alpha$ = 9 Db (categoria A3)	DL $\alpha$ = 10 Db (categoria A3)	EN 1793-1:2012
Isolamento ao ruído aéreo	DLR= 42 Db (categoria B4)	DLR= 42 Db (categoria B4)	DLR= 42 Db (categoria B4)	EN 1793-2:2012
<b>Outros ensaios:</b>				
Risco de queda de detritos	NPD	NPD	Classe 3	EN 1794-2:2011
Reflexo da Luz	NPD	NPD	NPD	EN 1794-2:2011
Impacto de Pedras	NPD	NPD	NPD	EN 1794-2:2011
Durabilidade expectável das características acústicas:	NPD	NPD	NPD	EN 14389-1:2015
<b>Durabilidade expectável das características não acústicas:</b>				
vida útil	30 anos	30 anos	30 anos	EN 14389-2:2015
Substâncias perigosas:	Arsénio, mercúrio < 0 ppm	Arsénio, mercúrio < 0 ppm	Arsénio, mercúrio < 0 ppm	EN 1794-2:2011

Quadro 5-1 – Análise comparativa de dispositivos de redução de ruído

De acordo com o Quadro 5-1, as barreiras acústicas sujeitas a análise contêm um comprimento aproximado de quatro metros, ao contrário do caso de estudo apresentado no capítulo 4, pelo que este fato se deve a uma uniformização na comparação entre elementos.

A sigla NPD apresentada no quadro 5.1 indica as características que não foram sujeitas a ensaios laboratoriais, devido à não obrigatoriedade para a obtenção da marcação CE e à não exigência dos promotores.

Nos próximos subcapítulos será realizada uma comparação entre as características referidas anteriormente.

## 5.2 CARACTERÍSTICAS DAS BARREIRAS ACÚSTICAS

As barreiras acústicas de betão permitem a redução do ruído aéreo, proveniente do tráfego rodoviário e ferroviário. Tal como referido anteriormente, são compostas por um painel de betão estrutural e por uma superfície com capacidade absorvente.

A superfície absorvente é caracterizada pela sua geometria “dentada” e pela sua composição, sendo a distinção entre barreiras realizada em função desta última.

Relativamente às características geométricas, as dimensões das barreiras acústicas são condicionadas pelos moldes de betonagem vigentes. A Farcimar, S.A., possui diversos moldes para a execução destes

produtos, o que permite a obtenção de elementos com diversas alturas, comprimentos e espessuras, consoante o pretendido pelo cliente.

Posto isto, as barreiras acústicas podem conter as seguintes geometrias:

- Barreira acústica com 18 centímetros de espessura (10 cm de betão compósito + 8 cm de betão estrutural), com comprimentos variáveis até aos 5 metros e alturas até aos 3 metros;
- Barreira acústica com 22 centímetros de espessura (14 cm de betão compósito + 8 cm de betão estrutural), com comprimentos variáveis até 5 metros e alturas até 3m.

As barreiras descritas anteriormente foram sujeitas a ensaios laboratoriais de avaliação do seu desempenho acústico e da sua capacidade mecânica, sendo atribuída a marcação CE.

A geometria do painel é uma característica a ter em consideração na escolha do produto a aplicar. Tendo em conta as pretensões do cliente, é avaliada a melhor solução aplicável.

Segundo os dados apresentados no Quadro 5-1, as barreiras em análise contêm uma espessura de 22 centímetros.

A próxima figura representa as características geométricas em formato 3D das barreiras acústicas.

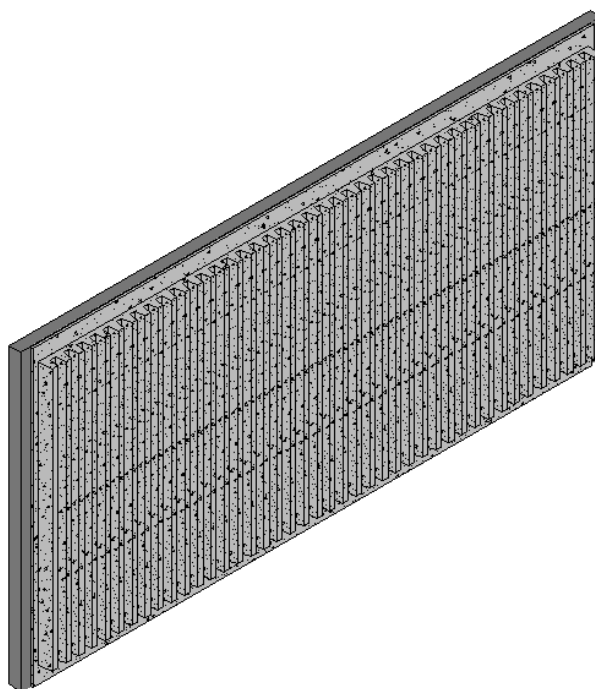


Figura 5-2 – Esquisso de barreira acústica em 3D;

As diferentes composições de materiais permitem uma melhoria diferenciada no comportamento acústico das barreiras, através da matéria prima utilizada no desenvolvimento do produto final. De seguida será abordada a composição das barreiras acústicas em análise.

A camada absorvente da barreira de betão poroso é constituída por um compósito à base de cimento, inertes, areia e água. As percentagens dos constituintes utilizados na composição dão origem a uma camada porosa, permitindo um melhor desempenho na absorção das ondas sonoras.

A camada absorvente de betão poroso foi criada numa fase inicial do desenvolvimento das barreiras acústicas na FARCIMAR, S.A. No desenrolar do processo produtivo foram concebidos estudos de camadas absorventes mais sustentáveis. Face ao exposto, foram concebidas camadas em aparas de madeira e granulado de borracha, de forma a reduzir a pegada ecológica e iniciar a mudança para uma economia circular.

No âmbito de desenvolvimento de produtos sustentáveis, foram elaborados diversos estudos de composições de betão de forma a desenvolver um produto com a trabalhabilidade necessária que garanta o desempenho acústico e a sua durabilidade.

Sendo a madeira um material com bastante importância desde os primórdios e com diversas vantagens ecológicas e económicas, desenvolveram-se barreiras acústicas de betão madeira. Após a concretização de vários estudos de dosagens da sua composição por laboratório credenciado, nos quais se avaliou a sua consistência, durabilidade e o desempenho acústico, conclui-se que a sua aplicação é uma mais valia, devido ao seu bom coeficiente acústico. Nas barreiras acústicas em betão madeira a camada absorvente é constituída por aparas de madeira, cimento e água.

As barreiras acústicas em betão madeira apresentam um bom desempenho acústico, devido à sua porosidade e massa volúmica reduzida.

Relativamente à reutilização da borracha, foram desenvolvidos vários estudos com o objetivo de gerar uma composição de elementos de borracha com o cimento, em substituição aos agregados naturais. Conclui-se que o betão borracha apresenta uma elevada tenacidade, durabilidade, redução de peso, permeabilidade e uma melhoria no desempenho acústico (Torgal; Jalali, 2010).

Tendo em conta as características do betão borracha e com o objetivo de minimizar o impacto ambiental, iniciou-se o delineamento da conceção de barreiras acústicas com a utilização de granulado de borracha, resultante da trituração mecânica de pneus em fim de vida. Após vários ensaios da composição e de adaptação à camada absorvente de uma barreira acústica, concluiu-se que a utilização deste compósito apresenta uma valência no desempenho mecânico e acústico. O betão borracha é composto por granulados de borracha, cimento e água.

No próximo subcapítulo serão abordadas as características mecânicas das barreiras acústicas em análise.

### **5.3 CARACTERÍSTICAS MECÂNICAS**

Atendendo à legislação em vigor, as diferentes barreiras acústicas foram submetidas a ensaios de avaliação do seu desempenho mecânico e de estabilidade, tendo em conta o especificado na norma EN 1794-1:2011 (requisitos mecânicos de desempenho e estabilidade).

Segundo a EN 1794-1:2011, procedeu-se à quantificação do peso próprio do elemento (seco e húmido reduzido) e das cargas suportadas pelo painel acústico, de acordo com o especificado.

#### **5.3.1 Capacidades aerodinâmicas**

A avaliação da deformabilidade do produto é determinada em função dos fenómenos a avaliar. Para a avaliação da ação do vento foi tido em conta descrito no Anexo A, sendo que para a avaliação da ação dinâmica da neve foi tido em conta o descrito no Anexo E.

Os procedimentos supracitados permitem avaliar a fissuração, a deformação permanente e a rotura do elemento, segundo os Eurocódigos. De referir que os valores obtidos nas barreiras em questão cumprem com o especificado na norma EN-1794-1:2011.

Relativamente à avaliação da deformabilidade do elemento, o Anexo A da respetiva norma indica os métodos para o cálculo da carga do vento em dispositivos de redução do ruído, tendo em conta a classe de exposição, o módulo de elasticidade e seus limites, tal como outros fatores relativos ao material em análise.

O Anexo A especifica também o método de cálculo e os requisitos mecânicos mínimos que os dispositivos devem cumprir. Este método tem como base a avaliação da deformada dos elementos quando submetidos a cargas aerodinâmicas, devido à força do vento e à pressão dinâmica do ar proveniente da passagem de veículos. O referido anexo também prevê a avaliação do seu desempenho por meio de ensaio laboratorial.

Face ao exposto, a avaliação do desempenho mecânico das barreiras acústicas em análise foi elaborada através do método de cálculo especificado no Anexo A da EN-1794-1:2011 e segundo o Eurocódigo 1: Ações em Estruturas Parte 1-4: Ações do vento.

Nos métodos de avaliação do desempenho são consideradas as características geométricas, as propriedades físicas e a classe de exposição da camada de suporte das barreiras acústicas.

Analisando o Quadro 5-1 verifica-se que as barreiras acústicas apresentam o mesmo valor de resistência às cargas aerodinâmicas, pelo que este resultado tem que ver com as semelhanças nas características da camada estrutural.

### 5.3.2 Peso próprio

Segundo a EN-1794-1:2011, o peso próprio do dispositivo acústico é determinado tendo em conta o seu comportamento em situações distintas.

O peso seco é determinado de forma a fazer uma aproximação do valor acústico do elemento. O peso húmido é determinado com o objetivo de avaliar a impermeabilidade do dispositivo, sendo uma característica importante a nível estrutural.

Os critérios estruturais descritos estão definidos no Anexo B da norma supracitada, através de cálculos que têm em consideração os valores da elasticidade entre outros fatores, tal como os materiais aplicados na construção destes elementos. Em situações em que os cálculos não são fidedignos, são elaborados ensaios laboratoriais.

Segundo o anexo B.2 da EN-1794-1:2011, o peso seco do elemento acústico deve ser medido diretamente ou calculado através da sua gravidade e as dimensões dos materiais utilizados, ignorando as armaduras utilizadas.

O peso seco das barreiras acústicas em análise foi determinado através da realização de ensaios laboratoriais, obtendo-se os resultados apresentados no Quadro 5-1.

A barreira acústica que apresenta um peso superior na fase seca é a barreira acústica de betão poroso com um valor de 425 Kg/m<sup>2</sup>, pelo que as restantes barreiras acústicas apresentam um valor significativamente inferior. Esta divergência do peso específico entre as barreiras está diretamente associada às matérias primas utilizadas.

O peso húmido relativo é considerado, mediante a exposição do elemento a ciclos húmidos e secos. De acordo com a norma supracitada, o provete em análise deve de ser imerso em água por 24 horas. Posteriormente, deve ser retirado do tanque de imersão, deixando-se drenar por 10 minutos e proceder à sua pesagem.

A quantificação da humidade relativa dos elementos em análise foi realizada de acordo com o especificado na norma, tendo-se obtido os valores indicados no Quadro 5-1. O peso húmido relativo da barreira acústica de betão poroso é superior em comparação ao peso das restantes barreiras, apresentando um valor de 463 Kg/m<sup>2</sup>, o que representa uma diferença considerável.

Relativamente ao peso húmido dos elementos acústicos, de referir que as barreiras acústicas em análise não foram submetidas a ensaios de avaliação do seu peso húmido.

### **5.3.3 Impacto de pedras projetadas**

De um modo geral, os dispositivos de redução de ruído são aplicados nas extensões das vias de tráfego rodoviário e ferroviário, onde a probabilidade de ocorrer impacto de pedras projetadas é elevada. Assim sendo, é fundamental que as barreiras acústicas sejam resistentes a estes impactos.

O Anexo C da EN-1794-1:2011 especifica os procedimentos do ensaio laboratorial que simula o impacto de pedras projetadas e a correspondência do dispositivo, não permitindo analisar o impacto de objetos pesados ou atos de vandalismo. As barreiras acústicas em questão não foram avaliadas segundo o ensaio laboratorial especificado, uma vez que o objetivo da presente dissertação passa por analisar as barreiras acústicas como um elemento redutor de ruído e não como contenção rodoviária.

### **5.3.4 Segurança em situação de colisão**

A norma EN-1794-1:2011 contém indicações sobre a implantação das barreiras e a sua segurança à colisão. Segundo o Anexo D, os dispositivos devem de ser auxiliados por sistemas de restrição rodoviária ou considerar a distância mínima à via. Quando não há a possibilidade de cumprir com estas indicações, as entidades devem ter em conta as consequências do impacto de um veículo, considerando a pertinência da colocação do dispositivo como um sistema de contenção rodoviária.

Uma vez que não se prevê a utilização das barreiras acústicas em análise como sistema de contenção rodoviária, não foi avaliado o seu comportamento segundo o Anexo D da EN-1794-1:2011.

### **5.3.5 Capacidade dinâmica da neve**

Devido à ocorrência de gelo-degelo e à queda de neve em locais propícios a este fenómeno, o Anexo E da EN-1794-1:2011 fornece indicações para a prevenção e para a elaboração da avaliação do dispositivo face à carga dinâmica da neve.

O presente anexo especifica dois métodos de avaliação. O primeiro pressupõe a realização do método de cálculo, no qual se considera a carga dinâmica de remoção da neve como uma carga horizontal uniformemente distribuída. É avaliada sua resistência, reflexão e os deslocamentos. O segundo método contempla a realização de ensaios laboratoriais, nos quais é feita uma simulação da carga da neve, através da aplicação de sacos de areia no dispositivo, avaliando-se a reação estrutural.

Havendo a probabilidade de ocorrência do fenómeno de gelo-degelo em determinadas localidades e devido a incoerência temporal sentida atualmente, as barreiras em análise foram avaliadas segundo o método de cálculo especificado na norma.

Analisando as características apresentadas para as barreiras acústicas, pode-se constatar que as barreiras quando expostas a este fenómeno apresentam uma capacidade resistente favorável.

O método de análise da capacidade resistente relaciona a geometria, as propriedades físicas e a classe de exposição do dispositivo. Uma vez que as barreiras em análise apresentam uma camada estrutural idêntica, a capacidade resistente é equivalente.

### **5.3.6 Segurança e ambiente**

Durante o desempenho da atividade principal das barreiras acústicas, estas não devem apresentar riscos para a via, para os seus usuários ou outras pessoas nas proximidades e para o ambiente em geral. A EN 1794-2:2011 – Requisitos gerais de segurança e ambientais - estabelece a informação necessária para a avaliação do impacto dos efeitos secundários, permitindo estabelecer os requisitos de proteção da via, usuários e transeuntes.

As indicações da norma em epígrafe são apresentadas em anexos, pelo que estes descrevem as suas bases, os ensaios laboratoriais a realizar e a forma como serão transmitidos os resultados. A norma é composta por uma introdução e é dividida por anexos alusivos aos ensaios e avaliações a ter em conta, conforme o material em avaliação. O Anexo - A apresenta a Resistência ao fogo, o Anexo B - Impacto de detritos, Anexo C – Proteção Ambiental, Anexo D - Meios de fuga em caso de emergência, Anexo E – Reflexão da luz e o Anexo F - Transparência.

### **5.3.7 Resistência ao fogo**

Com a preocupação da inflamação dos dispositivos de redução de ruído, devido à exposição a incêndios florestais e incêndios provenientes de acidentes de viação, o Anexo A da EN – 1794-2:2011 recomenda que os constituintes das barreiras acústicas sejam resistentes ao fogo, de forma a evitar a propagação do mesmo.

O Anexo A descreve um ensaio laboratorial a realizar-se, o qual pressupõe a utilização de uma amostra do painel acústico seco. Esta amostra é submetida a fontes de fogo em câmara fechada, à prova de fogo e livre de correntes de ar. A avaliação é realizada de forma visual, através de uma porta ou janela de visualização em posição adequada. No decorrer do ensaio é analisada a sua incandescência e no final do ensaio a sua repercussão.

As barreiras acústicas em análise são compostas por uma grande percentagem de cimento, o que apresenta uma resistência a temperaturas elevadas com uma reduzida ocorrência de incandescência. Face ao exposto, a única barreira acústica exposta a avaliação foi a barreira de betão madeira, devido à probabilidade de incandescência.

Como o painel de barreira acústica de betão madeira é constituído por uma camada absorvente composta por agregados de madeira, havendo uma maior probabilidade de combustão, foram elaborados ensaios para a avaliação do seu desempenho, segundo a EN 1794-2:2011,

A avaliação foi elaborada segundo o ensaio do elemento isolado em combustão (SBI) apresentado na norma EN 13823:2010+A1:2014 e o ensaio de ignitabilidade de produtos de construção conforme a ISO 11925-2:2010 e a ISO 11925-2:2011. Atendendo aos valores obtidos nos ensaios foi atribuída uma classificação da reação ao fogo, de acordo com a EN 13501-1:2018. A barreira foi classificada com a classe B – s1, d0, em que a letra B representa o seu desempenho de reação ao fogo, s1 a classificação adicional relativa à produção de fumo e d0 a classificação adicional relativa às gotículas ou partículas incandescentes.

Face aos resultados apresentados, não existem diferenças consideráveis entre as diferentes barreiras acústicas, no que diz respeito à resistência ao fogo.

### **5.3.8 Risco de queda de detritos**

Segundo o Anexo B da norma EN 1794-2:2011, a barreira acústica pode representar riscos para o seu meio envolvente devido à queda de detritos, quando danificada por uma colisão violenta, originando uma descontinuidade do conjunto estrutural. De forma preventiva, a norma concede algumas indicações a considerar e os métodos de avaliação da resistência do elemento ao impacto.

Em fase de projeto, a localização das barreiras é realizada mediante a prevenção de situações de choque, tendo em conta a distância à via e a proteção pelo sistema de segurança. Face ao exposto e não havendo uma obrigatoriedade de avaliação destas características, as barreiras acústicas de betão poroso e de betão madeira não foram expostas a este ensaio, não havendo a determinação da classe de risco de queda de detritos.

No decorrer do que foi referido anteriormente, e face a determinadas exigências do consumidor final, foram realizados os ensaios de avaliação de queda de detritos nas barreiras de betão borracha. Estes ensaios foram executados segundo o Anexo B – EN 1794-2:2011, tendo-se realizado o ensaio de risco de queda de detritos. O método de ensaio consiste na impulsão de uma massa pesada que atinga o cento ou na zona mais sensível da amostra, de forma a que se possa avaliar devidamente o seu comportamento ao impacto. A peça de impacto deve de ter uma massa de 400 kg ou de 45 kg, incorporada num pendulo que permitira o lançamento do peso. Na avaliação laboratorial apenas são considerados os destroços causados pelo primeiro impacto. Após a elaboração do ensaio, e tendo em conta o especificado na norma, é atribuída uma classe ao dispositivo de redução do ruído segundo o quadro 5.3.

Class	Test (kJ)	Result
0	Not tested	
1	0,5	B
2	0,5	C
3	6,0	B
4	6,0	C

Figura 5-3 – Quadro de classificação de queda de detritos (Anexo B, EN- 1794-2:2011);

De acordo com o ensaio elaborado para a barreira de betão borracha através de um elemento de impacto com uma massa de impacto de 45 kg, constatou-se uma libertação de detritos na camada de absorção após o impacto e uma ligeira indentação na zona de impacto. Face ao resultado, a barreira obteve uma classificação de classe 1.

Para a mesma barreira foi elaborado um ensaio em que o elemento de impacto apresentava uma massa de 400 kg. Após o ensaio laboratorial, constatou-se que o provete libertou detritos e originou uma fissura vertical por toda a altura e espessura do provete e uma indentação na zona do impacto. Face ao resultado a barreira acústica obteve uma classificação de classe 3.

Sendo o último ensaio mais agressivo e prejudicial para a estrutura, a barreira acústica de betão de borracha foi classificada como de classe 3 no risco de queda de detritos, segundo o Anexo B- EN 1794-2:2011.

Uma vez que as barreiras acústicas em betão poroso e em betão madeira não foram expostas nenhum método e avaliação, torna-se difícil analisar as diferenças entre as barreiras quanto ao risco de queda de detritos.

### 5.3.9 Proteção ambiental

A avaliação da proteção ambiental é importante para todos os usuários da via de tráfego e pessoas contiguas dos dispositivos de ruído.

Durante a vida útil e na degradação do dispositivo de redução de ruído é importante que este não transmita componentes tóxicos prejudiciais à saúde. Assim sendo, o Anexo C da EN- 1794-2:2011 indica que os materiais sejam devidamente declarados e a sua constituição devidamente analisada, de forma a prevenir os efeitos prejudiciais.

Face ao exposto, é de referir que o fato de os materiais estarem devidamente declarados e de se conhecer os materiais utilizados na composição das barreiras acústicas é indicador de que não há nenhum material prejudicial para o seu meio envolvente.

A barreira acústica de betão borracha foi a única a ser avaliada, segundo um ensaio de deteção de substâncias perigosas. Com o objetivo de detetar partículas prejudiciais para o ambiente, foi analisada a sua composição, por forma a determinar a percentagem de mercúrio e arsénio no provete em análise. Concluiu-se que a composição não tinha qualquer percentagem destes elementos químicos, pelo que correspondia aos parâmetros ambientais definidos.

Apesar da barreira acústica em betão borracha ter sido a única a ser submetida ao ensaio de deteção de substâncias perigosas, os materiais das restantes barreiras acústicas estão devidamente declarados e são conhecidas as composições das mesmas. Assim sendo, podemos concluir que todas as barreiras acústicas cumprem com requisitos ambientais definidos na norma supracitada.

### 5.3.10 Reflexão da luz

Outro dos riscos eminentes da circulação rodoviária é o reflexo da luz do sol ou dos faróis de um veículo numa superfície plana, o que origina desconforto e põe em risco a segurança dos utilizadores da via. A norma EN 1794-2:2011, segundo o Anexo E, indica um sistema de classificação de acordo com a reflexão da luz do elemento, permitindo a avaliação do nível dos possíveis riscos para os utilizadores.

Classification	Gloss value
Class 0	Not tested
Class 1	Gloss higher than 80
Class 2	Gloss from 40 to 80 (included)
Class 3	Gloss lower than 40

Figura 5-4 – Quadro de classificação do brilho (Anexo E, EN- 1794-2:2011);

Para a obtenção do valor do reflexo da luz é necessária a elaboração de um ensaio laboratorial à composição do dispositivo de redução de ruído, podendo ser realizado a um painel de tamanho real ou a uma amostra, de pelo menos 150 mm por 300mm. O ensaio realizado tem como base a EN - ISO - 2813:2010, norma que especifica o método de determinação do brilho através de ângulos de incidência da luz (20º, 60º e 85º).

As barreiras acústicas de betão em análise têm uma reflexão da luz muito reduzida ou nula, devido à sua composição. Assim sendo, as barreiras acústicas não foram avaliadas à reflexão da luz.

### 5.3.11 Transparência

Os dispositivos de redução de ruído podem ser transparentes, translúcidos e opacos. Tendo em atenção os elementos translúcidos ou transparentes, a EN 1794-2:2011, segundo o Anexo F, indica os efeitos prejudiciais para os utilizadores e pessoas contíguas e define os métodos de avaliação da transparência efetiva em determinados ângulos de vista. A avaliação é realizada através de método de cálculo, considerando o índice de refração dos materiais em análise.

As barreiras acústicas de betão em análise são elementos opacos devido à sua densidade, pelo que não permitem a transferência da luz. Posto isto, não foram elaborados estudos sobre a sua transparência.

## 5.4 CARACTERÍSTICAS ACÚSTICAS

As características acústicas dos dispositivos de ruído em análise foram avaliadas e classificadas segundo os métodos de ensaios especificados nas normas vigentes, como especificado na EN 1793:2012 e descrito anteriormente no subcapítulo 3.4 – Regulamentação aplicável.

O objetivo desta norma é a avaliação das características específicas que os dispositivos de ruído devem garantir para a segurança e a proatividade do seu meio envolvente, determinando o seu desempenho acústico face à absorção sonora e ao isolamento dos sons aéreos.

O ensaio de desempenho das barreiras acústicas à absorção sonora foi realizado num laboratório acreditado, pelo que as suas características foram avaliadas através da sua exposição a ondas sonoras em camara reverberante, segundo o especificado na NP EN ISO 354:2007 (Acústica: medição sonora em camara reverberante) e na norma EN 1793-1:2012 (Características intrínsecas da absorção sonora), tendo-se obtido resultados necessários para a atribuição da sua categoria de absorção sonora, conforme indicado na norma EN 1793-1:2012 (Figura 3-7).

O ensaio de isolamento ao ruído aéreo realizou-se em laboratório acreditado, procedendo-se à avaliação de resultados e elaboração da curva de isolamento sonoro segundo o especificado na norma ISO 10140-2:2010 (Medição de isolamento acústico aéreo). Tendo em conta estes resultados, definiu-se o índice de isolamento ao ruído aéreo, segundo a NP EN ISO 717-1:2009 (Medição do isolamento sonoro a sons aéreos entre compartimentos e determinação do índice de isolamento sonoro). Foi também atribuída uma classificação ao isolamento dos sons aéreos, segundo a norma EN 1793-2:2012 (Características intrínsecas do isolamento a sons aéreos), conforme indicado na Figura 3-8 da EN 1793-2:2012.

As barreiras acústicas em análise apresentam valores favoráveis à absorção sonora e ao isolamento aos sons aéreos, havendo uma ligeira diferença entre os resultados obtidos em cada barreira, segundo

classificação segundo a EN 1973:2012. Esta diferença condiciona a adaptação das barreiras aos critérios especificados no projeto de execução e aos planos ambientais de ruído vigentes.

Posteriormente, no subcapítulo 5.6 será desenvolvida uma análise comparativa sobre o desempenho acústico das barreiras e as respetivas vantagens.

## 5.5 DURABILIDADE

A qualidade dos dispositivos de redução de ruído está associada à durabilidade dos materiais utilizados e ao seu valor económico. Na fase de execução de um projeto há a necessidade de adquirir os materiais necessários para a sua boa execução, sendo elaborada uma avaliação do mercado tendo em conta a relação custo/benefício.

Na fase de deliberação do material a aplicar, a qualidade do produto é um fator relevante a ter em consideração, devido à necessidade de corresponder aos objetivos da obra e garantir a atividade até ao ano horizonte de projeto.

Com o objetivo de obter um produto com qualidade, foram elaboradas normas que definem os requisitos mínimos a ter em consideração na fabricação dos dispositivos de redução de ruído, tais como o seu desempenho acústico, mecânico e arquitetónico. A durabilidade e o desempenho durante a vida útil deverão também ser considerados.

Os requisitos mínimos de durabilidade da fase estrutural da barreira e da face acústica são especificados na EN 14389:2015 - Dispositivos de redução de ruído do tráfego rodoviário - Procedimentos para avaliação desempenho de longo prazo. A norma é dividida em duas partes. A EN 14389-1:2015 é orientada para as características acústicas e a EN 14389-2:2015 para a avaliação da superfície estrutural. A presente norma indica os fatores mínimos de segurança que o elemento deve conter no final da sua vida útil, garantindo a eficácia estrutural e as características acústicas. Conforme a norma, todos os elementos utilizados na sua construção devem de ser resistentes à corrosão eletrolítica e química de forma a garantir uma elevada resistência às intempéries.

A norma europeia EN 14389:2015 especifica os requisitos a avaliar na vida útil dos dispositivos de ruído e a sua classe de exposição a agentes químicos, aos fenómenos naturais, vibração proveniente do tráfego, o seu processo biológico entre outros, tendo em conta o seu afastamento à via. O projeto estrutural dos dispositivos deve de estar de acordo com os requisitos das normas europeias aplicáveis.

O Anexo A da norma salienta importância da classificação ambiental, de forma a avaliar o seu desempenho a longo prazo e apresenta uma classificação apropriada para os dispositivos de ruído conforme a EN 60721-3-4 - Classificação de grupos de parâmetros ambientais e suas severidades - Uso estacionário em locais não protegidos contra intempéries.

	Classifications	Identified Exposures List 1.	Location variation (Distance from carriageway)			Additional possible Climatic variations	
			< 5 m	5 m to 10 m	> 10 m	HOT	COLD
Table 1 (K)	Climatic conditions	IV. Dew V. Freeze/thaw VI. Cold VII. Heat VIII UV Radiation XII. Water	4K2	4K2	4K2		4K3 <sup>c</sup>
Table 2 (Z)	Special Climatic Conditions	XIII. Water spray	4Z7	4Z7	4Z6		
Table 3 (B)	Biological conditions		4B1	4B1	4B1	4B2 <sup>d</sup>	
Table 4 (C)	Chemically Active substances	I. Chemical agents II. De-icing salts <sup>a</sup> XI Ozone <sup>b</sup>	4C2 4C3 <sup>a</sup> 4C4 <sup>b</sup>	4C2 4C3 <sup>a</sup> 4C4 <sup>b</sup>	4C2 4C2 4C4 <sup>b</sup>		
Table 5 (S)	Mechanically Active Substances	III. Dirty water/ Dust	4S2	4S2	4S2		
Table 6 (M)	Mechanical Conditions	IX. Traffic Vibration	4M4	4M4	4M3		

Figura 5-5 - Classificação da exposição ambiental, quadro A.2 segundo a norma EN 60721-3-4 (EN 14389:2015);

O Anexo B da EN 14389:2015 indica as normas que podem ser usadas para avaliação do desempenho da vida útil dos materiais utilizados na composição do dispositivo de ruído, prevalecendo o descrito na presente norma. A norma salienta que quando se utilizarem materiais e compósitos diferentes na constituição das barreiras acústicas, a vida útil do dispositivo é atribuída consoante o material de menor durabilidade.

A avaliação da durabilidade do elemento acústico foi realizada segundo a EN 14389:2015 e as barreiras acústicas foram dimensionadas segundo a especificação técnica E 464:2007 (Betões- metodologia prescritiva para uma vida útil de projeto de 50 e de 100 anos face às ações ambientais). Na fase de dimensionamento foi considerada uma classe de exposição XC4 (ciclicamente húmido e seco), pelo que a partir da consulta da norma, esta permite definir os requisitos de composição e a classe de resistência do betão a adotar, de forma a garantir uma vida útil de 50 anos.

Tendo como base o método de dimensionamento teórico, no método de cálculo foi considerada uma vida útil teórica de 50 anos.

Apesar do dimensionamento dos dispositivos de redução de ruído ter sido elaborado conforme a E 464:2007, na qual foi considerada uma vida útil de 50 anos, a vida útil das barreiras acústicas em análise

foi definida de acordo com a EN 14389-2. Segundo a Figura 5-5, considerou-se a exposição ambiental e a distância à via, obtendo-se assim uma estimativa da durabilidade do elemento não acústico de 30 anos.

A avaliação custo/ benefício é elaborada tendo em conta o custo do fabrico, instalação e manutenção das barreiras acústicas.

Atualmente, o valor económico das matérias primas tem tendência a aumentar devido à sua escassez, resultado do uso excessivo da sociedade. Os dispositivos de ruído não são exceção, devido aos materiais utilizados na sua composição.

A barreiras acústicas de betão apresentam um valor atrativo em comparação às barreiras metálicas, devido ao custo reduzido das matérias primas utilizadas na sua composição e a garantia de durabilidade no ano horizonte de projeto.

A qualidade das barreiras em análise é garantida através da produção em ambiente controlado, em tempo reduzido e pela premissa de planear antecipadamente a sua instalação. Tal situação permite uma avaliação antecipada dos riscos e uma garantia de cumprimento dos requisitos especificados nas normas europeias.

Para além do que foi referido anteriormente, a manutenção das barreiras acústicas de betão durante a sua vida útil é reduzida devido à sua composição e à consistência dos materiais utilizados, o que permite uma redução significativa dos custos de exploração dos ativos. Assim sendo, o que condiciona o valor económico de uma barreira acústica é a sua composição.

Relativamente às barreiras acústicas em análise, a composição da camada absorvente é condicionante na inflação do seu valor económico, devido aos custos da matéria prima.

Entre as barreiras em análise, a barreira de betão borracha é a que apresenta o valor económico mais elevado, devido aos custos dos agregados de borracha e à procura insuficiente por parte dos consumidores.

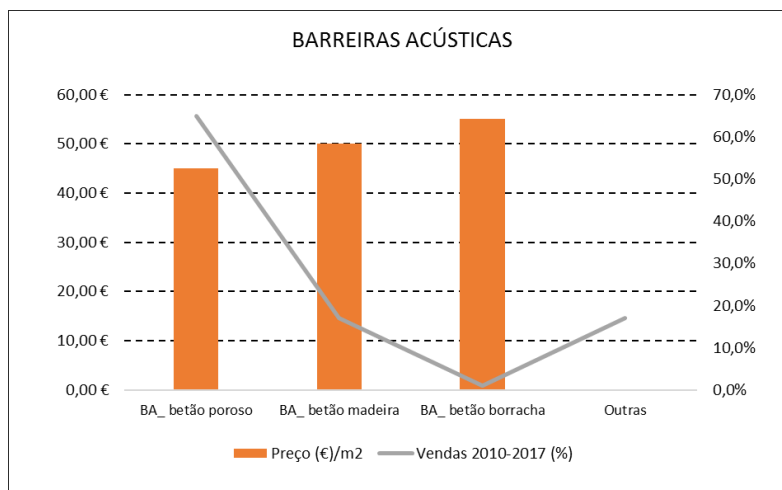


Figura 5-6 – Análise Preço (€/m²) / Vendas 2010-2017 (%).

## 5.6 COMPARAÇÃO ENTRE AS BARREIRAS ACÚSTICAS

Este subcapítulo tem como objetivo a elaboração de uma análise comparativa entre as barreiras acústicas, tendo em conta as características obtidas segundo as normas especificadas anteriormente.

A análise comparativa será elaborada com base na avaliação das características geométricas das barreiras acústicas, o desempenho mecânico, o desempenho acústico, a qualidade do produto e o seu valor económico. Tendo como base os dados do Quadro 5-1, apresentado anteriormente.

Segundo o exposto no quadro, pode-se observar que existe uma ligeira diferença nos valores das características mecânicas para cada tipo de barreiras acústicas, em particular no peso próprio do elemento.

O peso do elemento pré-fabricado é um fator relevante no procedimento de instalação, estando associado diretamente a custos, motivados pela necessidade de utilização de equipamentos elevatórios para a execução dos trabalhos. A escolha do meio de elevação é condicionada pela própria peça a aplicar, o que determinará o meio de elevação a utilizar consoante o volume da peça e os custos associados.

Analisando os valores obtidos, pode-se constatar que a barreira acústica de betão poroso apresenta um peso superior em comparação com as restantes.

As barreiras de betão madeira e de borracha apresentam um peso aproximado, devido ao aligeiramento das matérias primas utilizadas na composição da camada de absorção, o que garante uma mais-valia na aplicação destas barreiras.

Tendo em conta a avaliação da capacidade de resistência às cargas do dispositivo de ruído, segundo a EN 1794-1:2011, pode-se observar (Quadro 5-1) que as barreiras de betão poroso, de betão madeira e de betão borracha contêm uma equidade nas resistências às cargas, devido à semelhança na fisionomia da camada estrutural.

Após a comparação das características mecânicas entre as barreiras acústicas em análise, proceder-se-á à análise comparativa do desempenho acústico, em que serão avaliadas as características de capacidade de absorção sonora (EN 1793-1:2012) e de isolamento ao ruído aéreo das barreiras (EN 1793-2:2012).

Tendo em conta aos ensaios elaborados em laboratório acreditado para a determinação do índice de absorção sonora  $DL_{\alpha}$ , a próxima figura representa o coeficiente ( $\alpha$ ) obtido no ensaio para cada barreira

acústica, em que no eixo do x são representadas as frequências em Hertz (HZ) e no eixo y os coeficientes de absorção sonora obtidos ( $\alpha_s$ ).

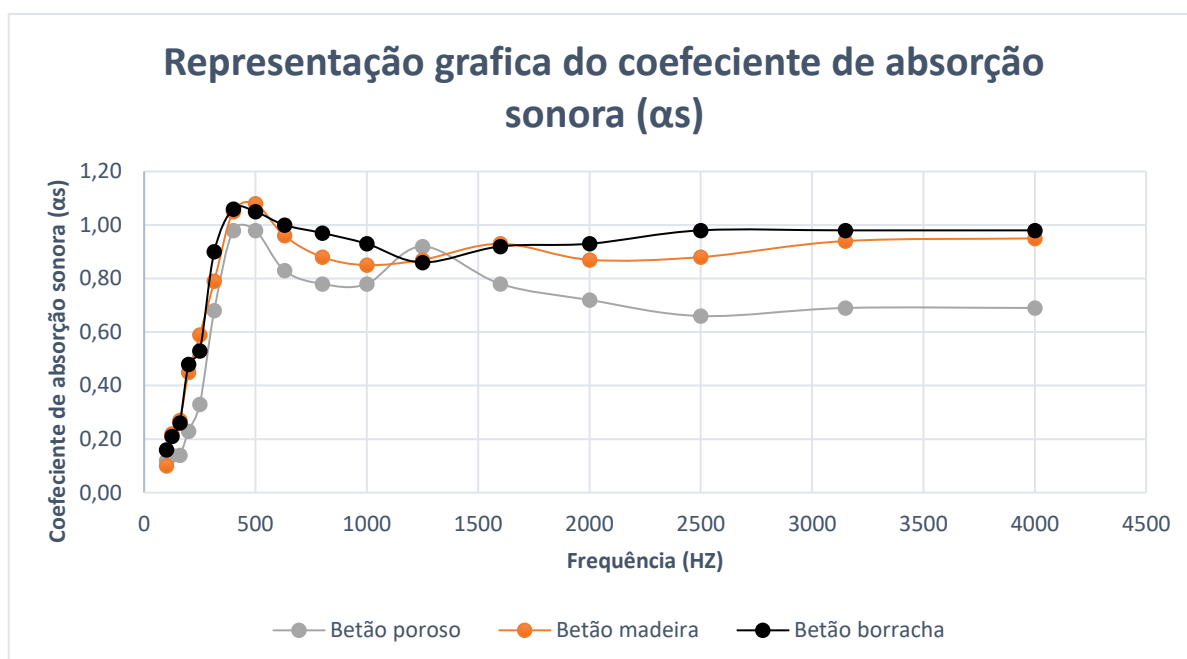


Figura 5-7 – Representação gráfica do coeficiente de absorção sonora ( $\alpha_s$ );

Através da figura apresentada anteriormente, pode-se constatar que de um modo geral a barreira que representa um menor coeficiente de absorção sonora é a de betão poroso, apesar de apresentar um desempenho acústico superior para uma frequência de 1250 Hz.

As barreiras acústicas de betão madeira e betão borracha quando expostas a frequências baixas até aos 500 Hz representam um valor aproximado do coeficiente de absorção sonora. Contudo, com o aumento da frequência, a barreira que apresenta uma maior coerência de resposta às frequências é a barreira de betão borracha.

Tendo em conta a “Figura 3-3 – Relação entre a frequência e absorção sonora entre Barreiras (Gonçalves, 2014)” do presente documento, pode-se constatar que a representação das características de absorção sonora da barreira acústica de betão poroso não corresponde com as obtidas em ensaio laboratorial, pois, apresenta uma maior capacidade de absorção sonora para uma frequência de 500 Hz. Contudo, pode-se afirmar que as barreiras acústicas em estudo são eficientes para elevadas frequências sonoras.

O índice de absorção sonora é obtido segundo o rácio dos coeficientes de absorção sonora ( $\alpha_s$ ) e classificada a sua categoria, segundo a EN 1793-1:2012.

Tendo em conta os valores obtidos nos ensaios laboratoriais e o exposto anteriormente, pode-se afirmar que a barreira que apresenta um maior desempenho acústico à absorção sonora é a barreira de betão borracha que apresenta um índice de absorção sonora de 10 Db. De acordo com a quadro da norma EN 1793-1:2012 pode ser classificada pela categoria A3.

<b>Category</b>	<b><math>DL_{\alpha}</math> dB</b>
A0	Not determined
A1	$DL_{\alpha} < 4$
A2	4 to 7
A3	8 to 11
A4	12 to 15
A5	> 15

Figura 5-8 - Quadro de classificação da absorção sonora de barreiras acústicas segundo a EN-1793-1:2012;

A barreira de betão poroso apresenta o menor índice de absorção sonora (6 Db) e é classificada pela categoria A2, enquanto que a barreira de betão madeira apresenta um índice de absorção intermédio de 9 Db, obtendo uma classificação na categoria A3.

Relativamente às características de isolamento aos sons aéreos, as barreiras acústicas foram ensaiadas em laboratório acreditado de acordo com a ISO 10140-2:2010 para a obtenção do índice de isolamento ao ruído aéreo ( $DL_R$ ). A próxima figura representa o coeficiente de isolamento sonoro a sons aéreos

normalizado (R) obtido no ensaio para cada barreira acústica, em que no eixo x são representadas as frequências em Hertz (HZ) e no eixo y os coeficientes R de isolamento sonoro em decibéis (Db).

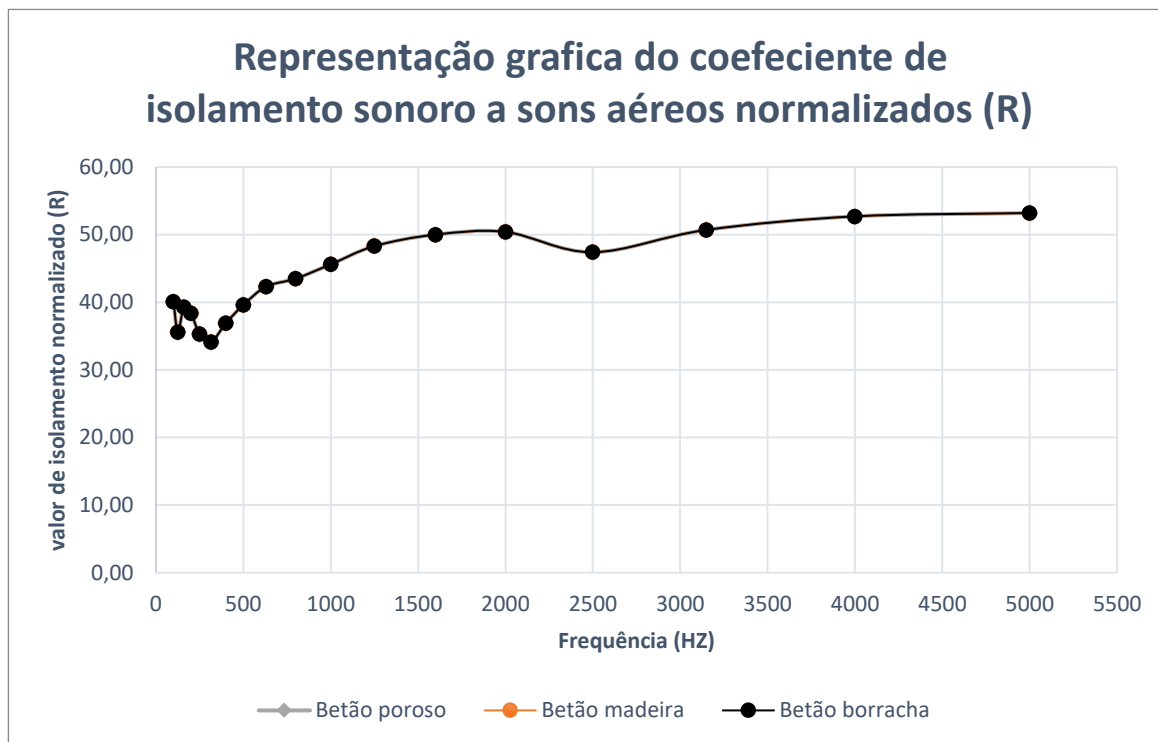


Figura 5-9 – Representação gráfica do valor normalizado do isolamento sonoro;

Através da figura apresentada anteriormente, pode-se constatar que as barreiras acústicas apresentam um coeficiente de isolamento sonoro idêntico, devido às suas características geométricas equivalentes.

O valor do isolamento sonoro é condicionado pela camada estrutural da barreira.

Pode-se observar também que as barreiras acústicas quando expostas a frequências menores que 500 Hz, frequências reduzidas, apresentam um desempenho favorável.

Com o aumento das frequências, as barreiras acústicas apresentam um bom desempenho acústico quando exposta a elevadas frequências, apresentam um valor de isolamento normalizado de 53,20 DB quando exposta a frequências de 5000 Hz.

O índice de isolamento ao ruído aéreo é obtido segundo o rácio do valor de isolamento normalizado (R) e classificada a sua categoria, segundo a EN 1793-2:2012.

<b>Category</b>	<b><i>DLR</i> dB</b>
B0	Not determined
B1	< 15
B2	15 to 24
B3	25 to 34
B4	> 34

Figura 5-10 - Quadro de classificação de isolamento aos sons aéreos de barreiras acústicas segundo a EN-1793-2:2012;

Tendo em conta os valores obtidos nos ensaios laboratoriais e o exposto anteriormente, pode-se afirmar que as barreiras apresentam uma equidade no desempenho acústico ao isolamento aos sons aéreos, apresentando um índice de absorção sonora de 42 Db. Segundo a EN 1793-2:2012 foram classificadas pela categoria B4.

Finalizando a análise acústica, proceder-se-á à análise da vida útil das barreiras acústicas em estudo, conforme descrito no subcapítulo 5.5.

Comparando as barreiras face à sua vida útil, pode-se verificar que todas as barreiras acústicas apresentam uma vida útil teórica equivalente de 30 anos, não havendo qualquer diferença de durabilidade entre as mesmas.

No decorrer do que foi referido anteriormente, e considerando que todas as barreiras contêm uma vida útil equivalente, proceder-se-á a avaliação dos custos associados à aquisição das barreiras acústicas.

De acordo com o descrito na Quadro 5-1, a barreira acústica de betão poroso é o produto mais económico devido aos materiais ornamentais utilizados, apresentando um índice de absorção sonora de 6 Db (categoria A2), sendo um índice relativamente inferior em comparação com as restantes barreiras.

No que diz respeito à barreira de betão madeira e à barreira de betão borracha, conforme descrito subcapítulo 5.5, o fator condicionante do seu valor económico prende-se com os materiais utilizados na composição da camada absorvente, apresentando designadamente um acréscimo aproximado de 10 % e de 13 % no seu valor económico, em comparação com a barreira de betão poroso. Todavia, apresentam benefícios consideráveis no desempenho acústico e na utilização sustentável dos materiais, fator que vai de encontro aos objetivos de desenvolvimento sustentável definidos pelas Nações Unidas segundo a Agenda 2030.

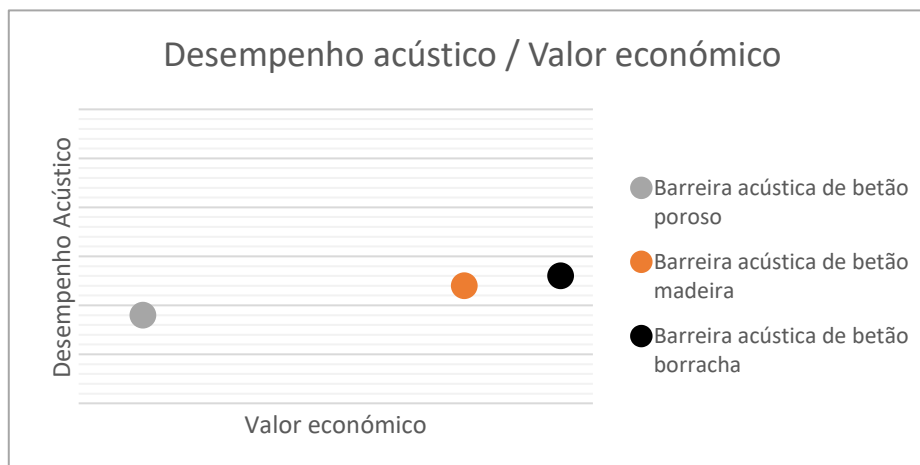


Figura 5-11 – Gráfico de dispersão, comparação entre desempenho acústico e valor económico das barreiras acústicas;

De modo geral, os fatores preponderantes na aplicação dos dispositivos de ruído dizem respeito ao seu valor económico e às características técnicas exigidas no planeamento de redução de ruído, consoante o local de implantação. Condicionando a instalação das barreiras acústicas, devido às propriedades e sua adaptabilidade, pode-se afirmar que a barreira acústica de betão poroso é um produto que contém uma maior valia económica e técnica, tendo em conta a versatilidade de adaptação aos requisitos solicitados pelo cliente e à regulamentação aplicável. No entanto, apresenta um índice de absorção sonora que poderá não corresponder com o exigido no regulamento geral do ruído (RGR), segundo o DL nº 9/2007.

Tendo em conta o descrito anteriormente, conclui-se que a barreira acústica de betão madeira apesar de apresentar um preço superior de 10 % relativamente à barreira acústica de betão poroso, o que é significativo no preço global da obra, também apresenta características adaptáveis aos requisitos regulamentares e pretendidos pelo cliente. Para além do que foi referido anteriormente, apresenta também um índice de absorção sonora e de isolamento aos sons aéreos que geralmente corresponde ao especificado no Regulamento Geral de Ruído aplicável.

Face ao exposto e tendo em conta a sua geometria, características mecânicas, desempenho acústico, durabilidade e valor económico, pode-se concluir que a barreira acústica de betão madeira é que apresenta uma maior adaptabilidade de circunstâncias e valores mais coesivos, garantindo assim uma maior valia em comparação com as restantes barreiras acústicas.

## CAPÍTULO 6

### CONCLUSÃO E DESENVOLVIMENTOS FUTUROS

#### 6.1 CONCLUSÃO

O presente documento teve como objetivo explicar os conceitos e vantagens da pré-fabricação em betão, exemplificando a sua aplicação em dispositivos de redução de ruído, tendo-se desenvolvido uma análise comparativa do desempenho entre as diferentes barreiras acústicas.

A pré-fabricação evoluiu de acordo com as necessidades da humanidade, havendo um crescimento significativo das técnicas de produção desde a era da revolução industrial. Até aos dias de hoje têm-se desenvolvendo produtos mais sustentáveis e adaptáveis às necessidades.

A aplicação de produtos pré-fabricados em betão permite a execução de projetos concisos, os quais apresentam os seguintes passos: execução do projeto, produção do elemento, planeamento da aplicação, a sua execução e manutenção.

Este método construtivo permite a elaboração de trabalhos em curtos espaços de tempo sem recorrer à utilização excessiva de equipamentos de apoio. Estas características permitem aumentar a qualidade dos serviços prestados, com uma redução significativa na ocorrência de acidentes de trabalho e nos custos associados, garantindo um produto final com qualidade e sustentabilidade.

A pré-fabricação é diversificada, podendo ser aplicada em vários âmbitos, todavia, as conclusões seguintes serão direcionadas à utilização de pré-fabricados em betão como dispositivos de ruído.

A mobilidade tem aumentado circunstancialmente a nível mundial, devido o desenvolvimento dos meios de transporte de pessoas, sendo imprescindível o desenvolvimento e a execução de infraestruturas ferroviárias e rodoviárias com o conforto necessário para os seus utilizadores e zonas contíguas.

Os fluxos ferroviários ou rodoviários de uma determinada via originam ruídos, causando desconforto para os contingentes que habitam nas proximidades destas infraestruturas. No âmbito da redução deste fenómeno foram desenvolvidos dispositivos de redução de ruído e requisitos a cumprir.

Os requisitos necessários dos dispositivos de ruído são indicados em legislação específica, como por exemplo as características geométricas, mecânicas, ambientais, avaliação do seu desempenho acústico e a sua durabilidade.

A legislação aplicável aos dispositivos de redução de ruído também tem em consideração o seu local de implantação, garantindo os requisitos aos contingentes das vias. Estas indicações permanecem no regulamento geral do ruído (DL n.º 9/2007), salvaguardando a saúde humana e o bem-estar das populações.

As barreiras acústicas podem ser constituídas por diversos materiais, tais como, metal, madeira, acrílico, alvenaria, misturas de materiais, entre outros.

As barreiras acústicas pré-fabricadas em betão em comparação com as os diversos tipos de barreiras existentes têm uma vantagem circunstancial relativamente à sua durabilidade, o que permite garantir o seu desempenho mecânico e acústico durante uma vida útil considerável, reduzindo os custos no período de manutenção do equipamento.

Apesar do que foi referido anteriormente, a produção em betão tem um impacto ambiental negativo, associado à extração de matérias-primas para a produção de agregados e de cimento. Tal situação envolve um consumo excessivo de energia e produção elevada de dióxido de carbono.

De forma a atenuar os impactes negativos associados à utilização do betão, têm-se desenvolvido formas de substituição dos agregados convencionais, através de resíduos resultantes da construção, produção agroalimentar e objetos de descarte resultantes da atividade humana.

As reutilizações destes materiais no desenvolvimento de outros produtos originam um produto mais sustentável, nomeadamente a barreira de betão madeira proveniente de resíduos de produção e a barreira de betão borracha da reutilização de pneus em fim de vida.

O desenvolvimento de produtos sustentáveis é uma mais valia para as empresas que o produzem, para o comprador e também para o consumidor final. Permitem que a sua produção seja menos agressiva para o meio-ambiente, preservando os recursos naturais e concebem sistemas sustentáveis que melhoram a qualidade de vida dos consumidores.

Atualmente a sociedade está preocupada e sensível em relação ao rumo do nosso planeta, a nível ambiental, pelo que as Nações Unidas elaboraram um plano designado por Agenda 2030.

Este programa é um “contrato” elaborado com os líderes mundiais e os povos, no qual estão definidos os objetivos a atingir para a melhoria da sustentabilidade em diversos temas, como por exemplo no âmbito da indústria, inovação e infraestruturas. Promovendo uma industrialização sustentável e

incentivando a inovação, garantindo um ambiente de diversificação industrial e agregação de valor às matérias-primas.

Outros dos temas é a garantia de padrões de consumo e de produção sustentáveis, incentivando as empresas a alcançar uma gestão ambiental responsável de todos os resíduos, como também incentivar os consumidores a adotar práticas sustentáveis.

Posto isto, as barreiras acústicas compostas por betão madeira foram desenvolvidas no âmbito de desenvolvimento e inovação na área de produtos sustentáveis, contribuindo assim para um desenvolvimento sustentável conforme os objetivos traçados, aumentando assim a qualidade dos produtos de mercado e reduzindo os efeitos negativos para o meio ambiente.

Segundo a análise comparativa realizada no presente capítulo, pode-se concluir que as barreiras acústicas sustentáveis (betão madeira e borracha) apresentam bons desempenhos mecânicos, acústicos e de durabilidade, com valores equivalentes ou superiores em comparação à barreira acústica de betão poroso. No entanto, o seu valor económico é preponderante na ótica do comprador, apresentando um custo acrescido na sua aquisição em comparação com o produto convencional (betão poroso).

O valor económico das barreiras sustentáveis é superior devido aos custos de transformação de resíduos em matéria-prima, no entanto, na avaliação de um produto sustentável não se deve considerar apenas o valor económico, pelo que também é necessário ponderar a projeção social e ambiental.

A sustentabilidade ainda não foi devidamente reconhecida pelo consumidor, pois este valoriza preferencialmente o valor económico, não compreendendo a influência dos impactes sociais e ambientais. O valor de compra é um fator relevante para a economia, mas, por outro lado o consumidor está equivocado no âmbito de preservação do meio ambiente e do futuro da nossa humanidade.

Face ao exposto, o fator preponderante para a inflação dos produtos sustentáveis é a reduzida procura no mercado por estes produtos, originando um aumento do seu valor económico. O facto de o volume de produção ser reduzido origina custos de produção mais elevados, e consequentemente um aumento do preço final.

As barreiras acústicas descritas neste trabalho apresentam um bom desempenho como dispositivos de redução de ruído, no entanto, a barreiras acústicas de betão madeira e de borracha apresentaram uma ligeira melhoria no seu desempenho, em comparação com o produto convencional (betão). Estas últimas, e como já referido anteriormente, apresentam também um valor acrescentado pelo facto de respeitarem as políticas de sustentabilidade.

A sustentabilidade é uma temática que tem se vindo a desenvolver, no entanto, continua a persistir uma imensa oportunidade tecnológica na otimização e caracterização de soluções construtivas inovadoras de

elevado desempenho funcional com capacidade de proporcionar um menor impacto ambiental ao longo dos seus ciclos de vida.

## **6.2 DESENVOLVIMENTOS FUTUROS**

Este documento teve como âmbito o desenvolvimento da pré-fabricação em betão e a sua aplicação em dispositivos de redução de ruído, principalmente no âmbito das barreiras acústicas. De referir que a análise de resultados foi elaborada tendo em conta diversos métodos de avaliação especificados nas normas, nomeadamente métodos de cálculo e por ensaios laboratoriais.

No decorrer da análise comparativa, constatou-se que a barreira de betão borracha foi exposta a ensaios adicionais em comparação com as restantes barreiras, tendo sido exposta a ensaios de avaliação do risco de queda de detritos e a ensaios de deteção de substâncias perigosas. Assim sendo, a análise comparativa entre as diferentes barreiras acústicas ficou condicionada na análise destes fenómenos.

Face ao exposto, e de modo a elaborar-se uma análise comparativa mais concisa entre as diferentes barreiras acústicas, deverão ser desenvolvidos mais estudos na avaliação do risco de queda de detritos e na avaliação da qualidade ambiental da sua composição, sobretudo nas barreiras de betão poroso e nas barreiras de betão madeira.

Propõe-se a realização de outros estudos, tendo em conta particularidades de outro tipo de dispositivos de ruído, nomeadamente uma análise comparativa entre as barreiras acústicas de betão e barreiras metálicas, de acrílico, madeira, barreiras naturais e materiais compósitos. Tendo como âmbito avaliar as divergências entre as propriedades físicas e mecânicas, de forma a compreender a solução mais adequada para um caso de estudo.

A adaptabilidade das barreiras acústicas considerando os aspetos arquitetónicos, as características mecânicas, desempenho acústico, durabilidade e o efeito da qualidade dos utilizadores da via e contíguos, avaliando estas características segundo o regulamento geral do ruído (RGR), DL nº 9 /2007.

Outro estudo a desenvolver seria no âmbito da sustentabilidade, narrando todo o processo de desenvolvimento de um produto sustentável, desde o projeto à sua conclusão e utilização. Realizando um estudo de materialização de um produto com uma composição versátil. Composição que poderia ser homogénea ou heterogénea. Apresentando assim soluções técnicas alternativas.



## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Acker, Arnold Van - Manual de Sistemas Pré-Fabricados de Concreto- Tradução de Marcelo Ferreira. São Paulo: ABCIC, 2003.

Barreto, Ana Filipa – Barreiras Acústicas: A Escolha dos Materiais e sua Instalação. Guimarães: [s.n], 2004.

Bergami, Maria Lúcia – Diretrizes para a Gestão da Qualidade do Processo de Projeto em Empresas de Pré-fabricados baseado na Norma NBR ISSO 9001:2000. São Carlos: [s.n.], 2009. Tese de Mestrado.

Carneiro, Anna Beatriz Couto Ribeiro – Barreiras Acústicas e visuais no Jardim Botânico do Porto – Projeto de Execução. Porto: [s.n], 2018. Tese de Mestrado.

CROCKER, M.J. Handbook of noise and vibration control. Published by John Wiley & Sons, Inc. Hoboken, New Jersey, 2007.

Eng.º Filipe Pacheco Torgal; Eng.º Said Jalali – Reaproveitamento de resíduos de borracha de pneus em betão. Universidade do Minho: [s.n], 2010.

FHWA - Federal Highway Administration (2000). Highway Noise Barrier Design Handbook. USA: United States Department of Transportation. <http://www.fhwa.dot.gov/environment/noise/design>.

FHWA - Federal Highway Administration (2017). Highway Traffic Noise. USA: United States Department of Transportation. <https://www.fhwa.dot.gov/environment/noise/>.

Gonçalves, Rui Pedro Ribeiro – Atenuação de barreiras Acústicas. Coimbra: [s.n.], 2014. Tese de Mestrado.

Leite, Rui Manuel Magalhães – Métodos Construtivos de Edifícios- Comparação entre pré-fabricação e construção tradicional em betão armado. Porto: [s.n], 2015. Tese de Mestrado.

Lopes, Tânia; Amado, Miguel P. – Conferência Construção e Reabilitação Sustentável de Edifícios no Espaço Lusófono, 2, Lisboa, 2013 – Pré-Fabricação Aplicada ao Contexto da Reabilitação de Edifícios.

Machado, Ivo Marques da Cunha- Pré-fabricação em betão armado – Uma abordagem sobre a indústria e seus processos. Porto: [s.n.], 2015. Tese de Mestrado.

Magalhães, António José Soares – A pré-fabricação em betão em Edifícios. Porto: [s.n], 2013. Tese de Mestrado.

Mondragão, Luis José Raposo Preto – Sistemas Industrializados de Betão Armado para a Construção de Armazéns. Porto: [s.n.], 2011. Tese de Mestrado.

Pinto, A. Reaes. 2000. A Pré-fabricação na Indústria de Construção, Congresso Nacional da Indústria de Pré-fabricação em Betão, 2, Porto, 2000: Associação Nacional dos Industriais de Produtos de Cimento.

Pires, Márcio Alexandre Teixeira – Barreiras Acústicas, Avaliação da sua eficácia. Braga: [s.n.], 2014. Tese de Mestrado.

Soares, Fabiano Silva – Avaliação do Uso de Barreiras Acústicas para Escolas Municipais de Porto Alegre. São Leopoldo: [s.n.], 2018. Tese de Mestrado.

Sousa, Josué Alves de – Produção de Peças Estruturais de Concreto Pré Moldado. Lages – SC: [s.n.], 2013. Tese de Mestrado.

Varandas, Ana Sofia Caeiro – Modularidade e Pré-fabricação em Le Corbusier. Lisboa: [s.n.], 2020. Tese de Mestrado

Xavier, Sónia Andrea – Comportamento de Barreiras Acústicas em Portugal. Aveiro: [s.n.], 2009. Tese de Mestrado.