



Artur José da Cunha Rodrigues

**Barreiras Acústicas, uma solução para
controlar o ruído em meio urbano**

Universidade do Minho
Escola de Engenharia





Universidade do Minho
Escola de Engenharia

Artur José da Cunha Rodrigues

**Barreiras Acústicas, uma solução para
controlar o ruído em meio urbano**

Dissertação de Mestrado
Mestrado em Engenharia Civil, Planeamento
e Infraestruturas de Transporte

Trabalho efetuado sob a orientação do
Professora Doutora Lígia Torres Silva

DECLARAÇÃO

Nome: Artur José da Cunha Rodrigues

Endereço Eletrónico: artur.um@mail.com

Telemóvel: 963121373

Número do Bilhete de Identidade: 12420687

Título da dissertação: Barreiras Acústicas, uma solução para controlar o ruído em meio urbano

Orientador: Professora Doutora Lígia Torres Silva

Ano de Conclusão: 2013

Dissertação do Mestrado: Mestrado em Engenharia Civil, Planeamento e Infraestruturas de Transporte

É AUTORIZADA A REPRODUÇÃO PARCIAL DESTE RELATÓRIO APENAS PARA EFEITOS DE INVESTIGAÇÃO, MEDIANTE DECLARAÇÃO ESCRITA DO INTERESSADO, QUE A TAL SE COMPROMETE.

Universidade do Minho, ____/____/____

Assinatura: _____

AGRADECIMENTOS

Gostaria de expressar o meu profundo agradecimento às pessoas e instituições que de alguma forma contribuíram para a elaboração deste trabalho.

À professora Lígia Torres Silva, supervisora científica desta tese, pelos importantes conhecimentos transmitidos, pela orientação, sugestões e críticas e muito especialmente pela excepcional disponibilidade com que sempre me acompanhou ao longo deste trabalho.

À Universidade do Minho, na pessoa do seu Reitor, e ao Departamento de Engenharia Civil, na pessoa do seu Director, pelo apoio concedido.

Aos colegas e funcionários do Departamento de Engenharia Civil da Universidade do Minho pelo incentivo e pelo ambiente de amizade e entreaajuda proporcionados.

Aos meus Pais, restante família e amigos, pelo constante apoio, encorajamento e disponibilidade prestada.

Barreiras Acústicas, uma solução para controlar o ruído em meio urbano

RESUMO

O aumento da população mundial, e o conseqüente incremento do número de habitantes nas cidades levou a um crescimento dos níveis de ruído nas zonas urbanas. Este ruído afecta a qualidade de vida e a saúde de todos aqueles que têm de conviver diariamente com esta forma de poluição. As conseqüências do ruído e a intensidade do mesmo podem ser mitigadas com medidas práticas e racionais de forma a melhorar a qualidade de vida de todos os intervenientes. O ruído em meio urbano tem várias proveniências, sendo a rodovia e ferrovia os seus principais causadores, havendo assim a necessidade premente de o reduzir. É neste contexto que a utilização de barreiras acústicas, colocadas entre as vias e as suas áreas adjacentes, pode ser utilizada como uma forma eficaz para a redução deste, melhorando assim a qualidade de vida das populações que aí residem.

É exactamente neste assunto que o presente trabalho pretende focar-se, estudando a necessidade das barreiras acústicas, a sua performance acústica, os projectos de barreiras acústicas, os tipos de barreiras e seus materiais constituintes, e ainda as considerações relativas à sua segurança, ambiente e custo.

PALAVRAS-CHAVES

Barreiras Acústicas, Ruído Urbano

Barreiras Acústicas, uma solução para controlar o ruído em meio urbano

ABSTRACT

The increase in world population and the consequent augmentation in the number of inhabitants in the cities have led to an increase in noise levels in urban areas. This noise affects the quality of life and health of all those who have to live daily with this form of pollution, and the consequences can be mitigated on the effects of noise and the intensity, with reasonable and practical measures to improve the quality of life of all citizens. The noise in urban areas has several origins, being the highway and railway its main cause, so there is a pressing need to reduce it. That is the context that the use of noise barriers placed between the roads and their adjacent areas can be used as an effective way to reduce it, thus improving the quality of life for people who live there. It is precisely this subject that the present study intends to focus on, analyzing the need for noise barriers, their acoustic performance, the types of barriers and their constituent materials, and even considerations of safety, environment and cost.

KEYWORDS

Environmental Noise Barriers, Noise Barriers, Urban Noise

Índice

1	Introdução	5
1.1	Motivação	5
1.2	Objectivos	6
1.3	Descrição da estrutura da tese	6
2	Enquadramento Temático	8
3	Performance acústica das Barreiras	15
3.1	Isolamento Sonoro	18
3.2	Posicionamento das barreiras	19
3.3	Comprimento da barreira	20
3.4	Barreiras verticais versus motas de terra	21
3.5	Reflexões nas barreiras	22
3.6	Reflexões nos veículos	23
3.7	Melhoria da performance acústica das barreiras	24
3.7.1	Barreiras em consola	24
3.7.2	Túneis	25
3.7.3	Terminações das barreiras	25
3.8	Passagem das ondas sonoras através de aberturas na barreira	28
3.9	Vegetação como barreira acústica	28
4	Projectos de Barreiras	30
4.1	Anatomia da barreira- elementos e características	30
4.1.1	Secção superior e topo da barreira	30
4.1.2	Secção Média	31
4.1.3	Secção Inferior	31
4.2	Fachadas das barreiras	32
4.3	Perfis verticais	32
4.4	Estruturas de suporte e fundações	34
4.5	Visão das barreiras em velocidade	34
4.6	Barreiras de duas fachadas	35
4.7	Padrão	36
4.8	Textura	38
4.9	Cor	39
4.10	Luz e sombras	39
4.11	Perfil	40
4.12	Materiais e design	41
4.13	Escolha de materiais – Neutralidade visual e compatibilidade	44
5	Tipos de Barreiras e Materiais	46

5.1	Motas de terra ou aterros	46
5.1.1	Motas de terra e plantio	49
5.2	Barreiras em madeira	50
5.3	Barreiras em painéis metálicos	52
5.4	Barreiras em betão	53
5.5	Barreiras em alvenaria	55
5.6	Barreiras compósitas	56
5.7	Barreiras em materiais plásticos	57
5.8	Barreiras transparentes	58
5.9	Barreiras em consola.....	60
5.10	Bio-Barreiras.....	61
5.10.1	Estrutura em A e bio-barreiras verticais	63
5.10.2	Caixa de solo	64
5.10.3	Barreiras constituídas por vegetação (salgueiro)	65
5.10.4	Bio-barreiras de blocos sobrepostos	67
5.11	Barreiras integradas	68
5.12	Túneis	70
6	Engenharia, segurança, Ambiente e custo	73
6.1	Considerações de engenharia	73
6.2	Considerações ambientais	76
6.3	Custo	76
7	Conclusão e desenvolvimentos futuros	78
8	Referencias Bibliográficas.....	80

ÍNDICE DE ACRÓNIMOS E ABREVIATURAS

Pa - Pressão sonora em Pa

$L_{p,dir}$ - Transmissão directa do som entre a fonte e o receptor

$L_{p,grd}$ - Transmissão do som reflectido no solo entre a fonte e o receptor

$L_{p,trans}$ - Transmissão do som entre a fonte e o receptor através da barreira

$L_{p,diff}$ - Transmissão do som difractado no topo da barreira

N - Número de Fresnel

δ - Diferença de percurso entre o caminho de difracção e o caminho directo da onda sonora
em m

λ - Comprimento de onda em m

M - Massa da barreira em Kg/ m²

A - Potencial de atenuação da barreira em dB

h - Altura da barreira em m

dB - decibel

dB (A) - decibéis com ponderação A

Hz- Hertz

IL - Perda de inserção em dB

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1 - Transporte com menor poluição sonora.....	9
Figura 2.2 Fonte pontual.....	11
Figura 2.3- Fonte Linear.....	11
Figura 2.4 - Fonte planar.....	11
Figura 2.5 - Propagação do som em presença de uma barreira acústica.....	12
Figura 2.6- Fenómenos de absorção, reflexão, transmissão e difracção de uma barreira acústica.....	13
Figura 2.7- Área de influência de uma barreira acústica.....	13
Figura 3.1 - Propagação esférica do som com a viatura parada.....	15
Figura 3.2 - Vias de transmissão de som desobstruídas.....	15
Figura 3.3 - Propagação do som em presença de uma barreira acústica.....	16
Figura 3.4 - Correção de barreira em função da distância.....	18
Figura 3.5 - Posicionamento da barreira junto à via.....	20
Figura 3.6 - Posicionamento da barreira no topo do talude.....	20
Figura 3.7 - Esquema com o ângulo mínimo a proteger, e a diminuição do comprimento da barreira, dobrando as suas extremidades para fora da via.....	21
Figura 3.8 - O ângulo da Barreira reflecte o som para cima.....	22
Figura 3.9 - Efeito reflectivo e de absorção das barreiras acústicas à passagem de um veículo.....	23
Figura 3.10 - Múltiplas reflexões entre a barreira e a parte lateral de um veículo.....	24
Figura 3.11 - Formas dos redutores de ruído em Y.....	26
Figura 3.12 - Exemplos de terminações de barreiras.....	27
Figura 3.13 - Redutor de ruído em forma de cogumelo.....	27
Figura 4.1 - Proporções das secções das barreiras.....	31
Figura 4.2 - Barreiras inclinadas e efeitos espaciais.....	33
Figura 4.3 - Arranjo de barreiras, transparência vs. Opacidade.....	36
Figura 4.4 - Barreira em painéis transparentes.....	35
Figura 4.5 - Aumento do interesse visual através da utilização de um padrão arrojado.....	37
Figura 4.6 - Aplicação de decalques em barreiras transparentes.....	37
Figura 4.7 - Detalhe da textura de um tijolo.....	38
Figura 4.8 - A textura torna-se menos evidente à medida que nos afastamos da barreira.....	38
Figura 4.9 - Os efeitos da incidência da luz solar, aumentando a complexidade e o interesse visual.....	40
Figura 4.10 - Aumento do interesse da barreira, pela introdução de mudanças no seu perfil.....	41
Figura 4.11 - Aterro, barreiras e visão.....	42

Figura 4.12 - Barreiras e a necessidade de espaço	43
Figura 4.13 - Exemplo de cores e materiais bem escolhidos, que se integram bem no ambiente que as rodeia	44
Figura 4.14 - Exemplo do uso de vegetação para unificar o aspecto visual.....	45
Figura 5.1 - – Comparação entre a altura necessária de uma Mota de terra e uma barreira vertical	47
Figura 5.2 - Exemplo de uma mota de terra bem inserida na paisagem envolvente	49
Figura 5.3 - Exemplo da incompatibilidade entre a madeira e o betão em viadutos e pontes.	51
Figura 5.4 - Barreira de madeira com vegetação que quebra a sua monotonia.....	51
Figura 5.5 - Pormenor de uma folha de aço perfurada	53
Figura 5.6 - Esquema de uma barreira acústica em metal com os seus vários constituintes...	53
Figura 5.7 - Barreira de betão betonado in situ	54
Figura 5.8 - Barreira de mistura de betão e fibras de madeira que lhe atribuem um carácter absorvente.....	55
Figura 5.9 - Barreira acústica em tijolo	55
Figura 5.10 - Exemplo de uma barreira composta por madeira, betão e acrílico.....	56
Figura 5.11 - Barreira em materiais plásticos.....	57
Figura 5.12 - Barreira transparente curva.....	59
Figura 5.13 - Barreira transparente que mitiga o ruído, e ao mesmo tempo aumenta o interesse visual do viaduto.....	59
Figura 5.14 - Exemplo da barreira em consola.....	61
Figura 5.15 - Tipos de bio-barreiras	62
Figura 5.16 - Comparação entre motas de terra e bio-barreira.....	63
Figura 5.17 - Exemplo de uma bio-barreira em caixa de solo plantada com hera para se inserir melhor no ambiente circundante	65
Figura 5.18 - Barreira de rebentos de salgueiro entrelaçados entre si.....	66
Figura 5.19 - Barreira constituída por rebentos de salgueiro no início da primavera	66
Figura 5.20 - Bio-barreira composta por tubos de betão, plantada depois com vegetação	67
Figura 5.21 - Bio-barreira em cascata	68
Figura 5.22 - Um conjunto de armazéns voltados para a via protegem as habitações	69
Figura 5.23 - Um conjunto de prédios residenciais de elevada altura protegidos por um edifício de garagens	69
Figura 5.24 - Espaço público permitido pela utilização de um túnel, onde a via se inseride.	70
Figura 5.25 - Aproximação ao túnel em Génova.....	71
Figura 5.26 - Vista interior do túnel em Génova, que contem painéis absorventes no tecto ..	71
Figura 5.27 - O túnel construído num viaduto protege os habitantes locais	72
Figura 6.1 - Saídas de emergência para pessoas e veículos.....	75

1 INTRODUÇÃO

1.1 Motivação

O crescimento da população mundial, e a conseqüente migração para as áreas densamente povoadas, levaram a um aumento do ruído urbano. Este problema tem tendência a agravar-se devido ao crescimento desregulado das cidades e à crescente mobilidade das populações que conduz a um aumento de tráfego rodoviário, existindo assim uma crescente preocupação das populações com esta temática, o que levou os governos a agir e criar legislação para reduzir o ruído urbano. A procura de soluções tem-se vindo a acentuar nas últimas décadas. A exposição humana ao ruído pode causar efeitos nefastos na sua saúde, ainda que de acordo com estudos até agora feitos, o ruído proveniente das rodovias se forem de níveis aceitáveis não causarão risco imediato de perda de audição. Eles causam no entanto, efeitos não auditivos preocupantes tais como perturbações nas suas actividades diárias no que respeita a comunicação, concentração no trabalho e descanso [1], bem como na sua qualidade de vida em geral.

Como foi dito anteriormente, algumas das origens mais comuns do ruído nas cidades são as rodovias e ferrovias, havendo várias formas de reduzir o ruído ambiente, que se podem sistematizar da seguinte forma. Medidas de protecção activa, medidas de protecção passiva e ainda intervenção directa nos receptores. As primeiras consistem essencialmente na intervenção directa na fonte, e podem-se destacar as intervenções levadas a cabo no tipo de pavimento utilizado, intervenções no perfil de vias rodoviárias, medidas de acalmia de tráfego (por exemplo a redução da velocidade de circulação, segregação de tráfego, e outras), e gestão de tráfego (por exemplo segregação de tráfego em determinadas vias, limitação de circulação em determinadas vias, etc.). As segundas consistem na intervenção durante a propagação do ruído, isto é, agindo durante o percurso entre a fonte de ruído e o receptor, como por exemplo a colocação de barreiras acústicas, cortinas arbóreas, túneis artificiais, entre outras. As terceiras incluem nomeadamente medidas levadas a cabo nas fachadas dos edifícios.

1.2 Objectivos

O presente trabalho insere-se no âmbito da dissertação de Mestrado Integrado em Engenharia Civil da Universidade do Minho, subordinada ao tema Barreiras acústicas, uma solução para controlar o ruído em meio urbano, e tem por objectivo explorar as potencialidades desta tecnologia como ferramenta para mitigar o ruído urbano, providenciando assim as populações que aí habitam uma melhoria na sua qualidade de vida.

Interessa ainda analisar e caracterizar de que forma é que elas fazem a redução do ruído, e perceber os princípios físicos básicos que importam alcançar para um design eficaz, tais como a sua morfologia, os materiais de que podem ser feitas, forma, altura, e comprimento. Relativamente às características não acústicas como a segurança, estética, manutenção, drenagens, custo de construção também serão abordados neste estudo.

1.3 Descrição da estrutura da tese

A presente dissertação foi estruturada em sete capítulos que, num primeiro momento, pretendem fazer uma introdução ao tema “Barreiras acústicas, uma solução para controlar o ruído em meio urbano”.

O seu enquadramento temático encontra-se no segundo capítulo.

Num terceiro capítulo é abordada a performance acústica das barreiras, que trata do isolamento sonoro, colocação da barreira relativamente à fonte sonora e comprimento da mesma, entre outras considerações.

Os projectos de barreiras descrevem-se no quarto capítulo, abordando-se a anatomia das barreiras, os seus elementos e características, a forma da barreira, estruturas de suporte e fundações, textura e cor.

No quinto capítulo são referidos os tipos de barreiras e os materiais que podem ser utilizados na sua concepção.

No capítulo seis são referidas as considerações de engenharia, segurança, ambiente e custo.

A conclusão e os desenvolvimentos futuros são apresentados no capítulo sete.

No final deste encontram-se as referências bibliográficas citadas ao longo deste trabalho.

2 ENQUADRAMENTO TEMÁTICO

O conceito de “cidade” tem vindo a sofrer mutações ao longo da história, sendo definido de acordo com valores sociais, culturais, económicos e muitas vezes espaciais dependendo das diferentes épocas.

Desde a era medieval até aos tempos modernos, a cidade e a sua definição têm evoluído progressivamente, muito particularmente no que diz respeito ao desenvolvimento arquitectónico e urbanista, tendo como base modelos geométricos que proporcionassem espaços amplos e isentos de obstáculos. Deste modo a circulação começa a ser uma preocupação no desenvolvimento das cidades.

Com a evolução de novas fontes de energia, no século XIX, dá-se um grande passo no desenvolvimento dos transportes, começando pelo comboio, que proporciona a revolução industrial. A revolução industrial por variadas razões marca uma nova era urbana caracterizada por algumas transformações: a racionalização das vias de comunicação, a especialização de sectores urbanos, o crescimento dos edifícios e armazéns. Com isto, a cidade ultrapassa os seus limites físicos com o conseqüente aumento e deslocação para a periferia.

Este processo de migração para a periferia é maior no decorrer da segunda metade do séc. XX. A cidade com o seu centro e os seus limites bem definidos passa a ser definida por um território urbano incerto de contornos indefinidos e dinâmicos, criando uma grande mudança no conceito inicialmente explorado. Passamos então a ter metrópoles, megápoles, cidades alargadas, ou ainda, áreas urbanas, áreas metropolitanas, regiões urbanas, entre outras designações.

Com o aparecimento do automóvel dá-se um dos grandes saltos na história da cidade e da mobilidade, e inicia-se a era da motorização.

Durante a década de 1970, a mobilidade, já constituía um factor de desenvolvimento económico e social. Era esta a visão dos diferentes actores económicos, sociais e políticos. A sociedade beneficiava da crescente mobilidade de pessoas, bens. Mais recentemente com as preocupações ambientais na ordem do dia, o uso quase descontrolado do automóvel trouxe novos problemas, e com eles a necessidade de politicamente terem de ser controlados através de leis, originando assim, a partir dos anos 80, em toda a Europa, uma necessidade de

reorientar as políticas dos transportes, no sentido da utilização dos transportes públicos que causem uma menor poluição sonora. (Figura 2.1).



Figura 2.1 - Transporte com menor poluição Sonora.

Existem diversas fontes geradoras de ruído nas cidades. As principais são o tráfego, a actividade humana, a actividade industrial, as obras de construção públicas e privadas, actividades lúdicas (locais de música e diversão) e tráfego aéreo. De entre todas as fontes de ruído anteriores destaca-se o tráfego como a primeira causa, isto porque temos uma cultura que privilegia o veículo próprio em detrimento dos transportes públicos. Estudos revelam que cada vez mais o ruído é uma parte integrante no quotidiano das sociedades tanto de países desenvolvidos como países em fase de desenvolvimento, estando relacionado com algumas mudanças comportamentais, stress, problemas cardiovasculares, falta de concentração, entre outros fenómenos.

O som como fenómeno puramente físico pode ser definido como uma vibração mecânica, ou seja, uma variação de pressão, num meio elástico como ar ou água percebida pelo ouvido humano. [2] O som resulta da movimentação das partículas de um meio elástico, ou seja, é uma vibração acústica perceptível pelo aparelho auditivo por diferenças de pressão. Propaga-se em diversos meios sólidos, líquidos ou gasosos, variando de velocidade entre os mesmos. Essa variação da velocidade verifica-se também para diferentes temperaturas. Em termos gerais a velocidade de propagação no ar é de 340 m/s, na água de 1 500 m/s e no aço de 5 000 m/s. A sua grandeza física é a Pressão Sonora, que se exprime em decibel (dB).

Por sua vez, o ruído pode ser definido como toda e qualquer solicitação detectada pelo ouvido humano que possa ser classificada como desagradável ou sem significado para o ouvinte. [3] O Ruído ambiental é entendido como um factor de impacto negativo no bem-estar pessoal.

Pode-se ainda acrescentar que, o que para alguns é classificado como som pode ser classificado por outros como ruído. Como exemplo deste facto atente-se na situação em que a conversa entre duas pessoas é classificada como som pelos seus intervenientes e classificada como ruído por uma terceira pessoa nas proximidades que se sente incomodada pela referida conversa. Convém ainda dizer que o significado que o ouvinte dá à solicitação não tem de ser necessariamente lógico. Deste modo se explica o porquê de certos tipos de música terem significado emocional para alguns ouvintes e não o terem para outros, sendo definido como som para os primeiros e ruído para os últimos.

A percepção do ruído depende das pessoas, dos momentos e dos locais. Entende-se por ruído um som desagradável ou incomodativo para o ser humano e é por isso que é difícil determinar objectivamente a incomodidade.

No ruído gerado pelo tráfego rodoviário, muito relevante para a análise do tema em estudo, é frequente considerar-se que este advém de três tipos de fontes, o ruído originado pelo próprio funcionamento do veículo, o ruído da interacção pneu/pavimento e o ruído aerodinâmico.

O ruído do motor (unidade de potência), o ruído pneu/pavimento e o ruído da turbulência do ar oferecem contributos diferentes relativamente à emissão de ruído global, a velocidades diferentes.

No ruído gerado pelo próprio veículo, às vezes denominado como ruído da unidade de potência, intervêm os elementos vibrantes que participam na propulsão, tais como o motor, a transmissão, os travões, o escape, a suspensão, etc..

O ruído é emitido por uma fonte sonora ou um conjunto de fontes e vai-se propagar a partir da fonte, tomando forma de ondas mecânicas concêntricas e aproximadamente esféricas. Este ruído vai perdendo a sua energia com o aumento da distância da fonte emissora ao seu receptor, contribuindo para esse facto vários factores tais como, o tipo de fonte emissora, as condições atmosféricas, (direcção do vento, temperatura e humidade do ar), e a presença de obstáculos entre a fonte e o receptor, como por exemplo, muros, edifícios, barreiras acústicas entre outros. De referir ainda que as fontes sonoras podem ser caracterizadas de três tipos, fontes pontuais (um martelo pneumático, um veículo automóvel) (Figura 2.2), fontes lineares,

(ruído emitido por uma via de trânsito) (Figura 2.3), e fontes planares como por exemplo o ruído emitido por uma fachada de um edifício industrial (Figura 2.4).

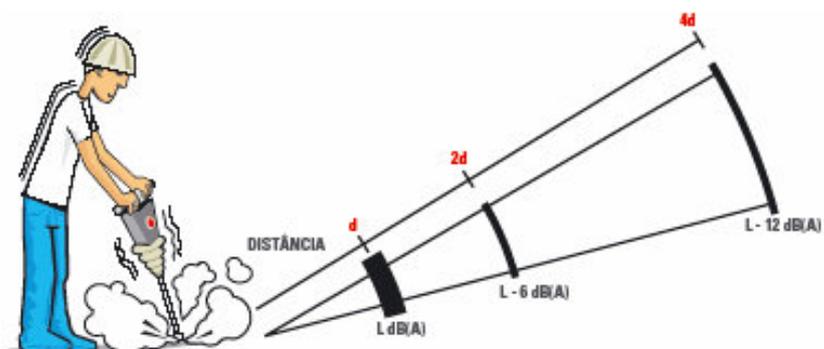


Figura 2.2 - Fonte pontual, [28]

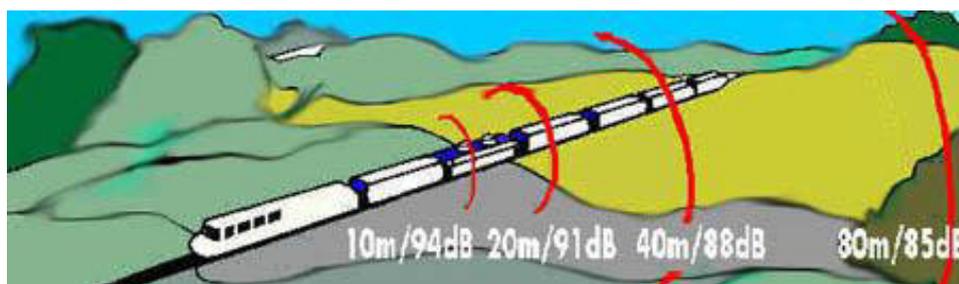


Figura 2.3– Fonte Linear, [28]



Figura 2.4 - Fonte planar, [32]

A redução do ruído originado pelo tráfego rodoviário pode ser obtida de três modos, designadamente, actuando na fonte sonora (ruído do motor, ruído da interacção pneu/pavimento, e ruído aerodinâmico), no percurso de propagação do ruído (por exemplo, edificação de barreiras acústicas) (Figura 2.5), e nos locais de recepção (isolamento de fachadas dos edifícios com ocupação sensível).

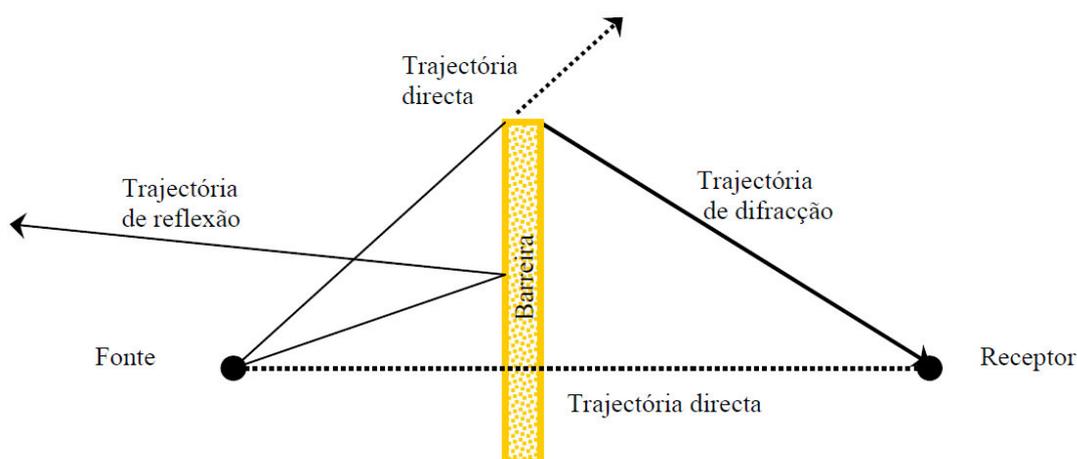


Figura 2.5 - Propagação do som em presença de uma barreira acústica, [28]

A redução da velocidade de circulação dos veículos, e o tipo de piso onde estes circulam baixam consideravelmente o ruído provocado aquando da passagem destes.

Entre a fonte e o receptor, a intervenção poderá passar pela construção de obstáculos ao ruído, impedindo a sua propagação até ao receptor, sendo este salvaguardado das possíveis consequências. Estes obstáculos podem ser criados, por um lado, pela correcta construção de edifícios com capacidade de isolamento acústico apropriada à sua utilização, ou por sua vez com o isolamento das fontes de ruído (Vias Rodoviárias) através da construção de barreiras acústicas.

O isolamento acústico dos edifícios deve, obviamente, ser apropriado à função dos mesmos, bem como ao contexto territorial que se encontram. É conseguido com a utilização de correctos materiais, disposições construtivas, formas e texturas das paredes e elementos exteriores dos edifícios. Materiais absorventes, caixas de ar, vidros duplos, formas rugosas ou onduladas, caixilhos bem isolados, são exemplos de boas práticas com a finalidade de se obter bons isolamentos acústicos.

Barreiras Acústicas

A função primordial das barreiras acústicas é proteger a população do ruído excessivo, gerado nomeadamente pelo tráfego rodoviário. Esse efeito de redução do nível sonoro entre a fonte sonora e o receptor é conseguido através de fenómenos de absorção, transmissão, reflexão e difracção (Figura 2.6).

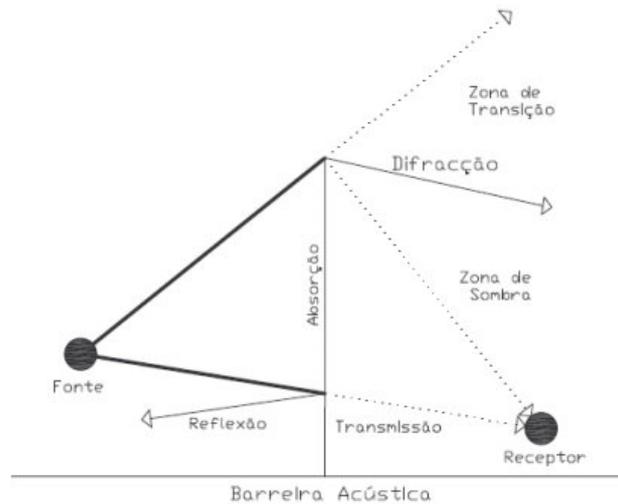


Figura 2.6 - Fenómenos de absorção, reflexão, transmissão e difracção de uma barreira acústica, [3]

De uma forma mais simplificada, podemos dizer que as barreiras acústicas promovem esta redução do ruído, criando uma zona de sombra na sua parte posterior através da difracção das ondas sonoras no topo da barreira (Figura 2.7).



Figura 2.7- Área de influência de uma barreira acústica, [28]

Na sua concepção deverão ser tidos em conta diversos factores podendo eles ser divididos em dois tipos. Considerações acústicas e considerações não acústicas, que serão resumidamente apresentadas de seguida, para uma melhor compreensão.

Considerações acústicas:

- Uma barreira acústica reduz o nível de ruído, em condições normais, de 10 a 15 dB(A) na zona de sombra;
- Uma barreira consegue atingir uma redução do nível de ruído de 5 dB(A) quando tem a altura suficiente de forma a interceptar a linha de visão entre a rodovia e o receptor;
- Uma barreira acústica consegue atingir uma redução adicional do nível de ruído de aproximadamente 1,5 dB(A) por cada metro de altura acima do nível de intercepção da linha de visão (com um máximo de redução teórico de 20 dB(A));
- O comprimento da barreira acústica deve ser aproximadamente 4 vezes a distância entre o receptor e a barreira;
- A barreira acústica deverá ter uma densidade mínima de 20 Kg/m².

Considerações não acústicas:

- Estéticas, especialmente dependendo do meio envolvente;
- Custos de manutenção;
 - Performance estrutural, o tempo de vida espectável é de cerca de 15 a 20 anos;
 - Custo de construção.

Nos capítulos seguintes abordaremos este tema de uma forma mais pormenorizada, uma vez que é este o interesse deste trabalho.

3 PERFORMANCE ACÚSTICA DAS BARREIRAS

As barreiras acústicas, construídas para proteger as populações, oferecem em alguns casos pouca ou nenhuma protecção, podendo geralmente com algumas pequenas modificações melhorar de forma significativa o seu efeito. Para evitar estes erros e garantir os melhores benefícios a partir de cada barreira é necessário os seus projectistas compreenderem os princípios básicos da teoria de barreiras acústicas.

O som propaga-se a partir de uma fonte em uma série de ondas de pressão que se expandem esfericamente quando se movem para longe da fonte (Figura 3.1). Estas ondas de pressão criam a sensação de ruído quando atingem o ouvido do ouvinte. Numa estrada sem protecção acústica, o trajecto mais importante para a transmissão do ruído é directamente da fonte para o receptor $L_{p,dir}$. Para além deste, chega ao receptor um som que é reflectido no chão e a que se dá o nome de $L_{p,grd}$. A interferência destes dois raios causa um efeito de redução da intensidade da onda de pressão que vai directamente da fonte ao receptor $L_{p,dir}$, e apesar deste mecanismo não ser totalmente compreendido, sabemos que ele é maior quando se trata de um solo macio e onde o $L_{p,grd}$ viaja junto ao chão.



Figura 3.1 - Propagação esférica do som com a viatura parada, [27]

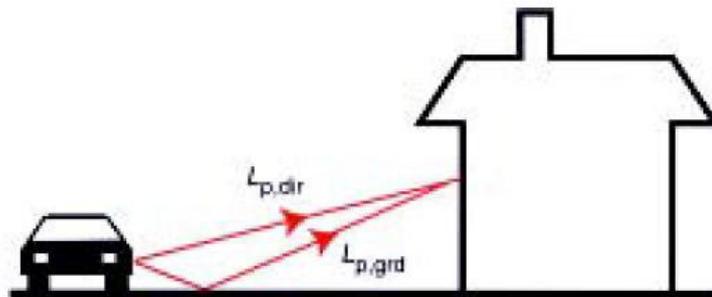


Figura 3.2 - Vias de transmissão de som desobstruídas, [27]

Esta atenuação devido ao solo, depende da frequência e Hutchins [4] mostrou que esta interferência destrutiva ocorre predominantemente para valores a rondar os 500 Hz (Figura 3.2).

A introdução de barreiras acústicas reduz em grande medida a força do raio directo, ainda que permaneça algum potencial de este ruído chegar ao receptor através da transmissão pela barreira $L_{p,trans}$, mas o mais importante na presença de uma barreira é o som que chega à fonte através da difracção no topo da barreira $L_{p,diff}$. (Figura 3.3). A barreira elimina ainda o som reflectido no chão $L_{p,grd}$.



Figura 3.3 - Propagação do som em presença de uma barreira acústica, adaptado de [27]

Para estabelecer a performance acústica das barreiras, nomeadamente a diferença entre $L_{p,dir}$ e $L_{p,diff}$, já foi levado a cabo um estudo bastante abrangente, especialmente por Maekawa [5] e que ainda se mantem como base para calcular a performance das barreiras. Outros se lhe seguiram, que desenvolveram uma teoria básica de barreiras acústicas e que relacionaram com trabalhos de campo [6 , 7]. A teoria desenvolvida calcula a performance acústica de uma barreira vertical, em termos do número de Fresnel N , que é definido por:

$$N = 2 \frac{\delta}{\lambda} \quad \text{Equação (1)}$$

onde δ é a diferença de percurso entre (comprimento do caminho difractado menos caminho directo) e λ é o comprimento de onda do som no ar. Na zona de sombra, onde a barreira

quebra a linha de visão entra a fonte e o receptor, δ é definido como positivo. Para o som que se propaga acima do bordo da barreira ele é considerado como negativo. Kurze e Anderson [8] desenvolveram as seguintes equações para a perda de inserção (IL) da barreira (Eq. 2 e 3):

$$IL = 5 + 20 \log \frac{\sqrt{2\pi N}}{\tan h \sqrt{2\pi N}} \quad (\text{dB}) \quad \text{para} \quad -0.2 < N < 12.5 \quad \text{Equação (2)}$$

$$IL = 24 \quad (\text{dB}) \quad \text{para} \quad N > 12.5 \quad \text{Equação (3)}$$

Da equação (1) podemos verificar que a performance acústica da barreira está dependente da frequência e ainda que deve ser lembrado que isto, juntamente com a perda das frequências médias devido à atenuação do solo, irá ter efeito na forma como o som se comporta nas baixas frequências quando introduzirmos uma barreira.

As Equações 2 e 3 acima apresentadas, apenas podem ser aplicadas a veículos individuais no ponto mais próximo do receptor. Estão disponíveis ainda expressões mais complexas para descrever o desempenho de uma barreira para uma corrente de tráfego. Felizmente para os designers de barreiras, raramente vai ser necessário utiliza-las como método de cálculo para o ruído de tráfego, uma vez que os resultados são fornecidos em forma de gráfico ou tabelas, ou ainda programas de computador que utilizam estes métodos. A compreensão das implicações da teoria é muito importante para conseguir obter o melhor rendimento possível da barreira acústica.

Podemos ainda constatar que quando a barreira apenas quebra a linha de visão entre a fonte e o receptor, há 5 dB de redução do ruído, e além disso poderá haver uma redução de ruído para os receptores na área iluminada. O método de cálculo utilizado no Reino Unido [8] para a atenuação do ruído proveniente do tráfego rodoviário por uma barreira acústica é mostrado na Figura 3.4. Ele dá um limite teórico de atenuação pela barreira de aproximadamente 20 dB (A) na zona de sombra, mas na prática um valor realista será na ordem de 15 dB (A). O gráfico mostra ainda que, a atenuação da barreira acústica rapidamente tende para zero

quando $\delta = -0.6$ na zona iluminada, o que significa que nesta região a barreira acústica é de pouca eficácia.

Na zona de sombra, a diferença de atenuação pode ser da ordem de 3 dB por oitava para $\delta = 0,5$ m, mas para evitar o incómodo, a maior parte dos métodos de cálculo adoptam um valor típico de N, em este valor corresponde a frequências entre 300 e 500 Hz, permitindo assim uma ponderação (dB (A)).

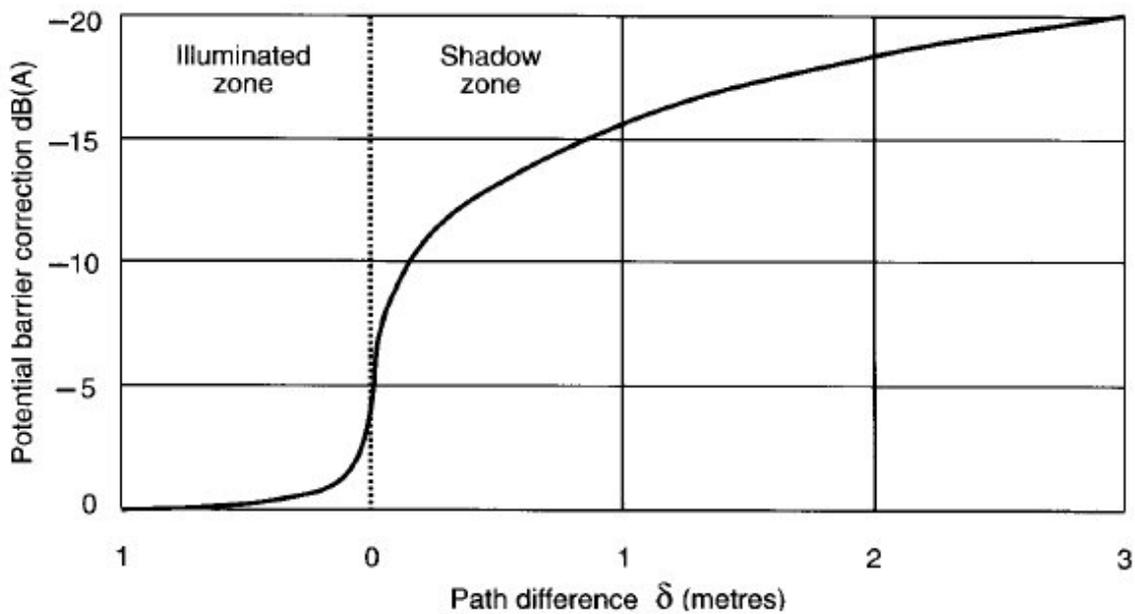


Figura 3.4 - Correção de barreira em função da distância, [27]

3.1 Isolamento Sonoro

A atenuação obtida por uma barreira acústica de espessura reduzida pode ser comprometida se esta não for projectada de forma a garantir que a transmissão do som seja significativamente afectada no caminho até ao receptor. Uma contribuição de 0.5 (dB (A)) é normalmente adoptada como sendo a contribuição mínima devido ao som transmitido através da barreira.

$$L_{p,trans} = L_{p,diff} + 10 \text{ dB} \quad \text{Equação (4)}$$

O isolamento de som conseguido pela barreira depende de muitos factores, tais como, a massa da barreira, a rigidez, factores de perda e o ângulo de incidência do som. De todos estes o mais significativo é a massa da barreira e muitos métodos de cálculo adoptam-no como sendo o factor decisivo da capacidade de isolamento de uma barreira acústica. No Reino Unido o departamento de transportes [9] dá a seguinte formula para calcular a massa necessária para a barreira Acústica.

$$M = 3 + \log^{-1} \left(\frac{A-10}{14} \right) \text{ Kg/ m}^2 \quad \text{Equação (5)}$$

Onde A é o potencial de atenuação em dB (A) da barreira ($L_{p,dir} - L_{p,diff}$) e apenas a massa dos painéis deve ser considerada nesta equação, tudo o resto deve ser ignorado. É essencial que não haja aberturas na barreira que permitam escape do som. Se houver aberturas grandes o som não vai ser atenuado mas se houver aberturas pequenas o som pode mesmo ser amplificado.

3.2 Posicionamento das barreiras

Para obter uma performance óptima da barreira acústica é geralmente desejável que esta seja colocada o mais perto possível da fonte (via rodoviária). Isto acontece quando a estrada e a barreira estão ao mesmo nível ou quando a estrada está em aterro ou num viaduto (Figura 3.5). O mesmo efeito pode ser obtido se colocarmos a barreira junto ao receptor, mas apenas pode ser utilizado para receptores isolados, e a alguma distância da estrada.

No caso de a estrada estar em aterro, estes princípios não se aplicam, aqui a barreira deve estar colocada no topo do talude (Figura 3.6). Devemos reconhecer que a colocação da barreira apresenta um potencial conflito entre os objectivos acústicos e visuais, havendo a necessidade de encontrar uma solução de compromisso entre os dois.



Figura 3.5 - Posicionamento da barreira junto à via, [27]

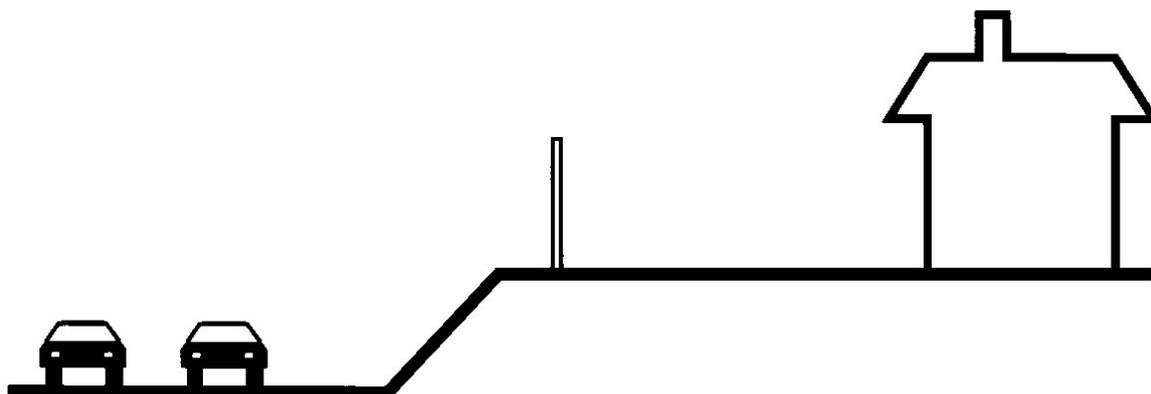


Figura 3.6 - Posicionamento da barreira no topo do talude, [27]

No caso de a rodovia ter duas ou mais vias de trânsito, ou a rodovia ter um separador central anormalmente grande, ou ainda se o receptor estiver colocado acima do nível da estrada, é um bom princípio colocar uma barreira sonora no separador central, para não ter que construir uma barreira com uma altura muito elevada, o que seria inaceitável.

3.3 Comprimento da barreira

A difracção do som não ocorre só no topo da barreira, mas também nas suas extremidades laterais. Assim, a redução do ruído não depende apenas da sua altura, do seu posicionamento entre a fonte e o receptor, mas também do seu comprimento. O som difractado nas extremidades da barreira é geralmente menos significativo do que no topo da barreira, uma vez que beneficia do efeito de absorção do solo. Por experiência sabe-se que, geralmente quando uma barreira cobre um ângulo de 160° a partir do receptor, o efeito de refracção do som não é relevante. Quando por falta de espaço, não é possível a barreira ter um determinado

comprimento, ele é passível de ser encurtado, inclinado as extremidades da mesma (Figura 3.7).

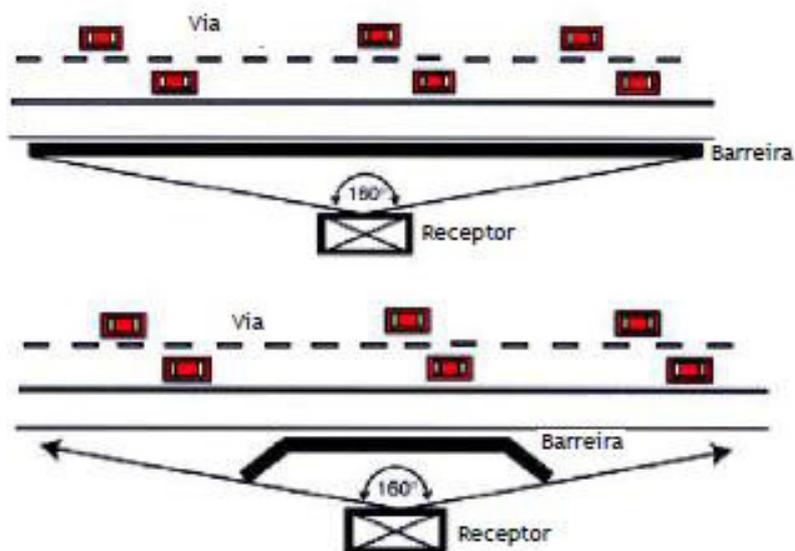


Figura 3.7 - Esquema com o ângulo mínimo a proteger, e a diminuição do comprimento da barreira, dobrando as suas extremidades para fora da via, [3]

3.4 Barreiras verticais versus motas de terra

As barreiras em aterro são por vezes utilizadas como forma de atenuar o som, especialmente em áreas rurais, devido à disponibilidade de espaço e ao facto de serem praticamente invisíveis na paisagem.

Pode-se pensar que as motas de terra conseguem promover uma redução de som idêntica à das barreiras convencionais, contudo isso não se verifica, uma vez que o vértice dessa barreira não consegue estar tão junto da via como estaria uma barreira convencional, De facto a sua geometria particular obriga que esta seja mais alta que as paredes verticais em cerca de 0.5 a 1m. Hothersal [10] refere, que para o ruído proveniente do tráfego, uma barreira vertical oferece um aumento de 4 dB relativamente às barreiras em aterro de altura similar. Num modelo à escala, utilizando uma barreira vertical colocada no topo do aterro, Hutchins [3] mostra uma atenuação superior a 10 dB para uma frequência entre 350 e 500 Hz numa barreira vertical. Podemos daqui concluir, que quando quisermos utilizar motas de terra como forma de mitigar o som proveniente de uma via de trânsito, para otimizar a redução deste, devemos colocar uma barreira vertical no seu topo, ainda que esta seja de menores dimensões do que normalmente seria utilizada no caso de ser apenas uma barreira vertical.

3.5 Reflexões nas barreiras

O som que atinge uma barreira acústica vai ser reflectido ou absorvido, apenas uma pequena parte vai ser transmitido através da barreira como já foi dito anteriormente. As barreiras feitas de betão ou madeira são vulgarmente caracterizadas como reflectivas, enquanto as barreiras construídas com materiais absorventes, como fibras minerais, ou espumas são consideradas como sendo absorventes.

Nas barreiras reflectivas, o raio reflectido origina outra fonte sonora com origem na barreira e que apesar de a sua intensidade não ser tão elevada como a original, este vai atingir directamente a fonte, o que leva a que o potencial de redução da barreira não seja optimizado. Uma forma de ultrapassar este problema é simplesmente aumentar a altura da barreira, processo este que aumenta o custo da barreira e potencialmente cria um impacto visual inaceitável. Uma solução comum é inclinar as barreiras no sentido contrário à via, fazendo assim com que o som seja reflectido para cima, não atingindo assim o receptor (Figura 3.8). O seu ângulo de inclinação depende da distância entre barreiras, quanto mais próxima a barreira estiver maior terá que ser o ângulo, e quanto mais afastadas, menor ele terá que ser.



Figura 3.8 - O ângulo da Barreira reflecte o som para cima, [27]

Uma solução alternativa passa por colocar barreiras acústicas com características absorventes. Estas podem dividir-se em dois tipos. As primeiras consistem na incorporação de uma camada permeável de material na parede virada para o tráfego que dissipa a energia das ondas sonoras transformando-as em calor. Nas segundas a absorção é feita com base no ressoador de Helmholtz, onde as ondas entram numa série de cavidades na barreira constituídas por pequenas aberturas.

A decisão no uso destas barreiras está geralmente dependente do custo, uma vez que do ponto de vista de atenuação do ruído elas são mais eficazes.

3.6 Reflexões nos veículos

A reflexão do som nos veículos, particularmente em veículos altos reduz a performance da barreira acústica de forma significativa. Estudos desenvolvidos, tendo por base medições no terreno corroboram exactamente este facto Calirbois [11].

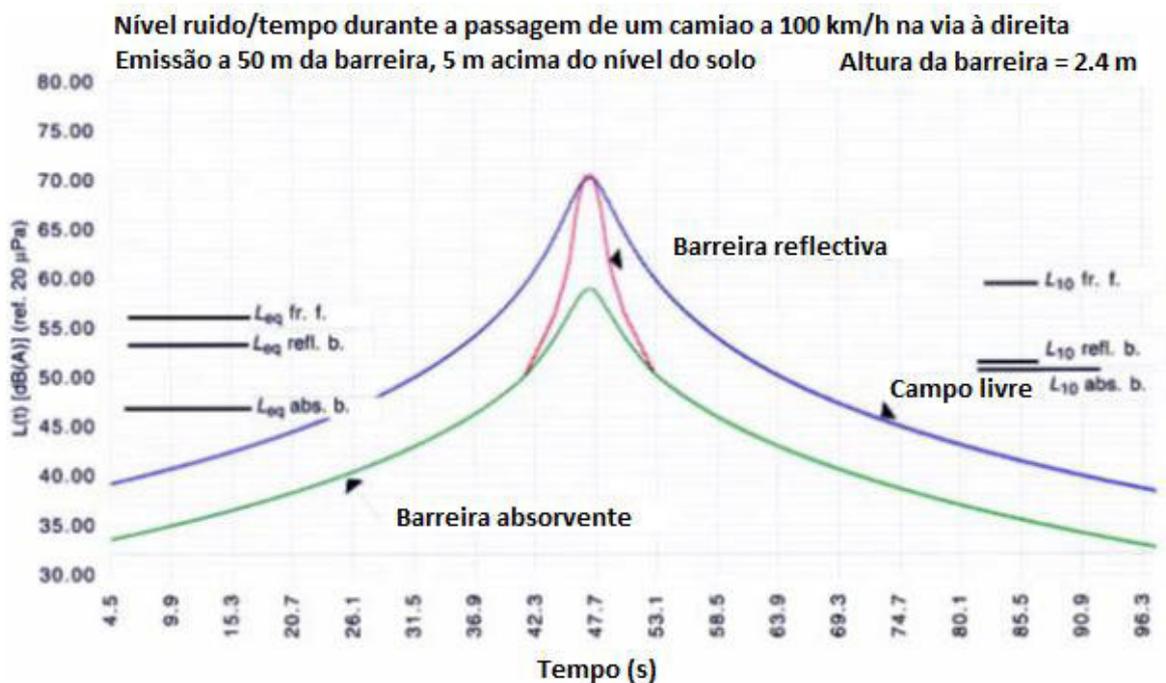


Figura 3.9 - Efeito reflectivo e de absorção das barreiras acústicas à passagem de um veículo, adaptado de [27]

A (Figura 3.9) mostra o nível de ruído de uma via sem barreira acústica aquando da passagem de um veículo. Quando uma barreira acústica reflectiva é instalada, há uma redução do ruído proveniente do veículo aquando da sua chegada e partida do local onde o receptor está instalado. Todavia quando o veículo está junto ao receptor, este efeito de redução não se verifica. À chegada e partida do veículo, a redução do ruído é alcançada, uma vez que à medida que o som viaja em direcção ao receptor ele é reflectido tanto para trás como para a frente do veículo. Quando o veículo se encontra no ponto mais próximo do receptor, o som reflectido pela barreira vai reflectir novamente na parte lateral deste e volta em direcção da

barreira. Este processo continua até que o som chega ao topo da barreira onde por fim é difractado em direcção do receptor (Figura 3.10). Estas múltiplas reflexões elevam a altura da fonte para junto do nível da barreira, e conseqüentemente há pouca ou nenhuma diferença entre a distância percorrida pelo som directamente, e pelo som refractado.

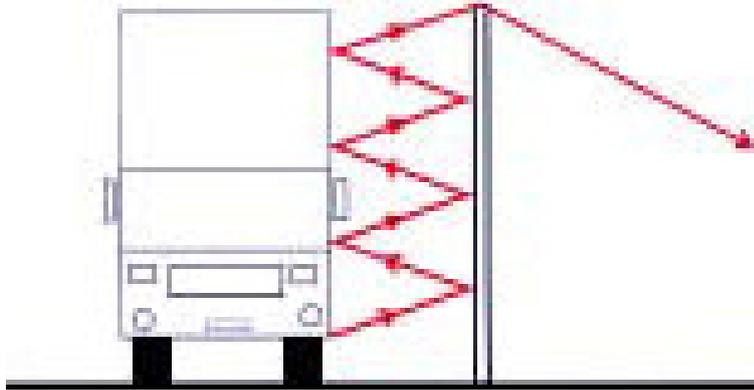


Figura 3.10 - Múltiplas reflexões entre a barreira e a parte lateral de um veículo, [27]

3.7 Melhoria da performance acústica das barreiras

Há muitas vezes designs conflitantes que devem ser considerados ao projectar uma barreira. Por vezes gostaríamos de conferir alguma redução do ruído por intermédio de uma barreira acústica, mas o impacto visual por ela criado, (por ser demasiado alta), pode ser dissuasor. Ao mesmo tempo temos que reconhecer que o aumento da altura da barreira vai ser um factor determinante no custo total da estrutura. Tem havido por isso pressões para que sejam encontradas novas soluções que garantam um aumento do efeito da barreira, sem que a sua altura seja aumentada. Seguidamente faz-se um resumo de várias técnicas já utilizadas e também de soluções mais recentes.

3.7.1 Barreiras em consola

Esta é a solução mais simples para reduzir o nível de ruído sem aumentar a altura da barreira, e consiste na inclinação do topo da barreira na direcção do trafego. Esta solução permite, que a difracção que ocorre no topo da barreira, ocorra mais próximo da fonte de ruído do que se

fosse numa barreira vertical. Exemplos deste tipo de solução variam desde inclinar o topo da barreira alguns metros, até coberturas que se estendem até às faixas de rodagem. Estas barreiras são cada vez mais utilizadas para proteger edifícios altos mas, Kim [12] através de estudos que levou a cabo mostra que os efeitos por elas provocados não são constantes ao longo de toda a altura do edifício. Os pisos mais baixos, assim como os mais altos registam diminuições de ruído, mas nos pisos intermédios esse efeito é reduzido comparativamente com uma barreira vertical de altura equivalente.

3.7.2 Túneis

Os túneis proporcionam a forma mais eficaz de mitigar o ruído do tráfego, sendo apenas o seu custo que geralmente proíbe o seu uso. No entanto os túneis estão a tornar-se cada vez mais uma solução em áreas particularmente sensíveis.

O seu design pode variar desde soluções menos complexas e que apenas proporcionem uma redução do ruído a níveis aceitáveis, a estruturas que podem suportar cargas e em que o solo acima deste possa ser utilizado para outros propósitos. É importante ainda referir que é necessário ter o devido cuidado para que o som que se acumula no interior do túnel não aumente para níveis inaceitáveis na vizinhança das aberturas. Para isso deve aplicar-se materiais com características absorventes no seu interior, e Woehner [13] aconselha que em túneis com o comprimento superior a duas ou três vezes os seu diâmetro estes materiais absorventes sejam colocados nas aberturas.

3.7.3 Terminações das barreiras

A performance acústica da barreira é geralmente caracterizada pela difracção do som que ocorre no topo da barreira, e por isso muitos esforços tem sido levados a cabo para encontrar novas formas de aumentar o potencial de difracção no topo da barreira. Em seguida irão ser descritos alguns deles.

3.7.3.1 Barreiras perfil T

Vários investigadores reportaram os efeitos de instalar uma cobertura horizontal no cimo de uma barreira vertical, formando assim uma barreira em T. Este perfil é no fundo uma pequena barreira em consola e seria de esperar que os efeitos que ela proporciona fossem iguais aos das demais barreiras em consola, mas tal não se verifica. O seu efeito de redução sonora é ainda superior e Hothersall [14] afirma que na barreira em T, um metro de cobertura horizontal no topo da barreira vertical produz um efeito de redução do ruído de 1dB (A) comparativamente a uma barreira vertical com a mesma altura.

3.7.3.2 Barreiras em forma de Y

A barreira em forma de Y tem vindo a ser desenvolvida no Japão. Esta barreira tem dois pequenos Y no topo de um Y maior, criando assim topos que causam a difracção do som (Figura 3.11). Shima [15] afirma que os resultados deste tipo de barreira, num teste à escala real, são bastante melhores que uma barreira vertical comum, e podem chegar a 10 dB de melhoria de redução sonora para uma frequência de 500 Hz.

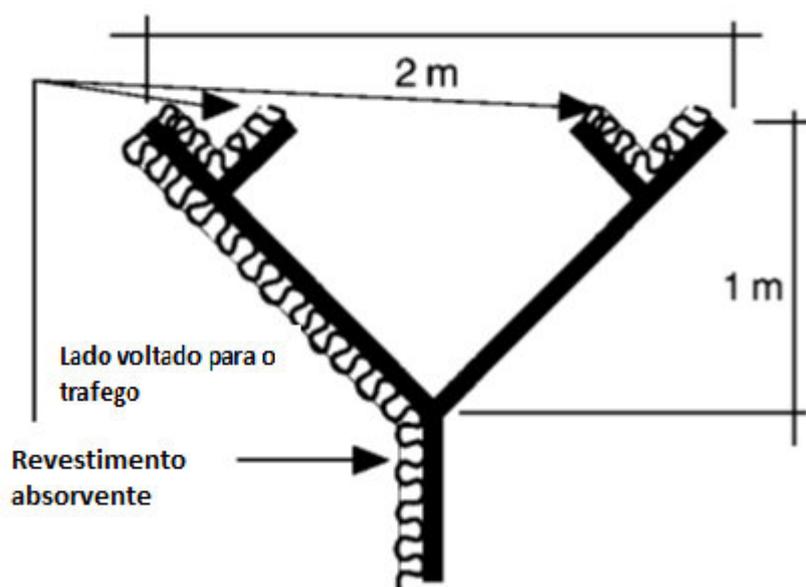


Figura 3.11 - Formas dos redutores de ruído em Y, adaptado de [27]

3.7.3.3 Barreiras com terminação tubular e em forma de cogumelo

O uso de elementos tubulares no topo de barreiras acústicas verticais tem sido estudado por inúmeros investigadores. As formas mais populares são a cilíndrica, assimétrica então em forma de cogumelo e são fabricadas a partir de materiais reflectivos ou absorventes (Figura 3.12).

Alfredson e Du [16], dizem que há uma melhoria de performance na barreira acústica de 3 dB quando utilizado um cilindro com material absorvente no topo e que não há melhorias quando é utilizado um cilindro com características reflectivas, comparativamente com uma barreira vertical de igual altura. Fujiwara e Furuta [17], afirmam que um cilindro em material absorvente com 0.5 m de diâmetro produz uma redução do som de 2-3 dB (A) para uma frequência de 1-1.6 kHz. Afirmam ainda que ainda que modesto o benefício é equivalente a aumentar a altura de uma barreira vertical em 2 m. Uma das últimas inovações das terminações tubulares são as terminações em forma de cogumelo com uma largura de 0.6 m e facilmente fixados no topo de barreiras verticais já existentes (Figura 3.13) e que permitem reduções do ruído de 2-3 dB (A).

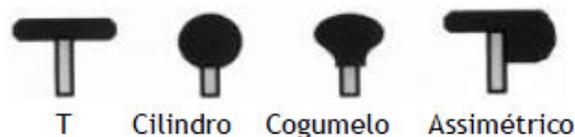


Figura 3.12 - Exemplos de terminações de barreiras, adaptado de [26]

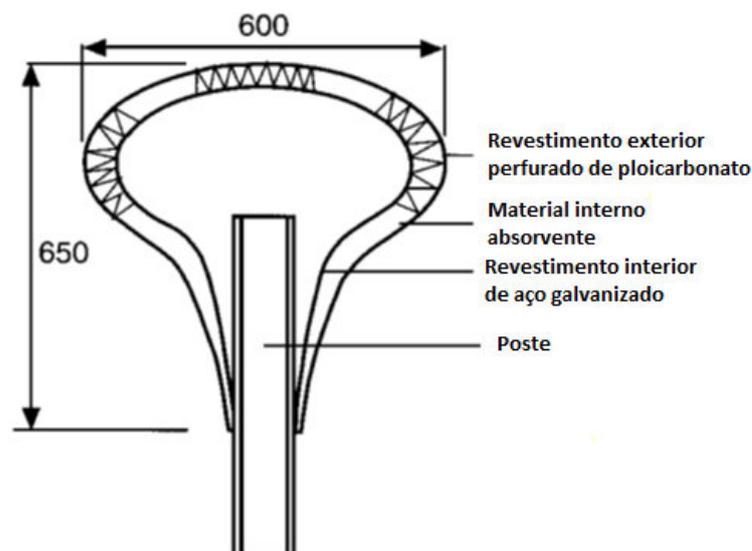


Figura 3.13 - Redutor de ruído em forma de cogumelo, adaptado de [27]

3.8 Passagem das ondas sonoras através de aberturas na barreira

Quando uma barreira é construída por mais do que um tipo de material, nas intersecções dos painéis, e nas ligações entre os painéis e a estrutura de suporte podem surgir fendas e orifícios. Em fendas de dimensões consideráveis, a performance da barreira pode ser comprometida, uma vez que estas fendas não contribuem para a mitigação do som. Em fendas de pequenas dimensões, estas actuam principalmente como filtros de frequências. Para a maioria destas, o efeito é reduzido, no entanto para outras frequências pode haver uma perda significativa do desempenho da barreira devido a fenómenos de ressonância que ocorrem no interior da fenda, como mostra o trabalho de Gomperts e Kihlman [18].

A redução de performance em barreiras de madeira foi estudada por Watts [19]. Ele afirma que, em barreiras até 3 m de altura, a perda de performance é de menos de 1 dB (A) para distâncias da fonte de mais de 20 m. Em barreiras com mais de 6 m de altura, as reduções de performance são superiores a 2 dB, para distâncias maiores de 20 m. Podemos pois concluir que para as situações mais comuns a presença de fendas e orifícios de pequenas dimensões nas barreiras é de pouca relevância na redução da capacidade de atenuação sonora desta, uma vez que a área de abertura é quase insignificante relativamente à área total da barreira.

3.9 Vegetação como barreira acústica

O recurso a vegetação como forma de protecção sonora tem vindo a ser estudada por muitos investigadores. Kragh [20] apresenta resultados com base em estudos feitos no terreno, em que, com um conjunto de sete filas de vegetação, variando entre 15 m e 40 m de profundidade, é possível obter benefícios de 6 - 8 dB para baixas frequências (250 Hz) e (1 kHz) para altas frequências, mas poucos benefícios são registados, menos de 3 dB, para as frequências médias, que como é sabido representam a componente dominante do ruído do tráfego. A melhoria nas baixas frequências é atribuída à absorção do solo, e nas altas frequências é fruto da própria capacidade de absorção da vegetação.

Há ainda várias desvantagens no uso de vegetação como forma de mitigar o ruído, sendo a principal, a vegetação não conseguir uma imediata redução do ruído, necessitando de algum tempo para crescer e se desenvolver o que leva a que haja necessidade de aplicar outras

medidas nesse intervalo de tempo. Outra desvantagem é o facto de a minoração do ruído não ser constante ao longo do tempo, uma vez que, as plantas como seres vivos que são encontram-se sempre em constante mutação, não sendo assim possível de uma forma precisa caracterizar a atenuação que conferem. Acrescenta-se aos anteriores a necessidade de manutenção constante, para conseguir atingir um nível óptimo de desempenho.

4 PROJECTOS DE BARREIRAS

4.1 Anatomia da barreira- elementos e características

De forma a melhor descrever os seus componentes, e analisar os seus elementos, existe a necessidade de criar um modelo simples, da morfologia de uma barreira acústica. Essencialmente, uma barreira acústica pode ser dividida em três grandes componentes. Uma secção inferior, uma secção média e uma secção superior. Para além destes, tem ainda o seu topo, que lhe proporciona a sua silhueta, uma aresta inferior que contacta com o chão e ainda uma estrutura de suporte e fundação.

4.1.1 Secção superior e topo da barreira

A secção superior e o seu topo são aspectos muito importantes a considerar, devido ao impacto visual que criam. Desta forma, o meio onde estão inseridas é determinante na sua concepção. Em áreas rurais, as barreiras devem ser camufladas na paisagem, e a sua secção superior e topo devem ser executados em materiais leves e transparentes. O mesmo procedimento pode ser tomado quando são inseridas em meio urbano, sendo o objectivo neste caso, criar a ilusão de que a barreira é de menor dimensão do que na realidade, e deixar-se atravessar pela luz. Há, no entanto casos onde o uso de barreiras com uma silhueta mais marcada é mais adequado, como por exemplo em áreas onde a paisagem urbana é pouco apelativa, e seja necessário um novo estímulo visual.

O tratamento do topo das barreiras deve ser abordado tendo em vista considerações acústicas e não tanto considerações estéticas, devido ao facto de a difracção do som no topo afectar em larga escala a redução de ruído alcançada pela barreira. Podem ser instalados elementos que absorvem o som tais como elementos tubulares e em forma de cogumelo. É no entanto interessante reparar que a maior parte das barreiras actualmente não possuem estes sistemas, o que poderá ser explicado por aportarem um baixo contributo na diminuição do ruído, de 2-3 dB e também em muitas barreiras o topo ser transparente. A transparência permite à barreira inserir-se mais harmoniosamente no ambiente que a rodeia, e tem sido vista como uma

solução cada vez mais a ter em conta para futuros projectos pela sua simplicidade e menor impacto visual.

4.1.2 Secção Média

A secção média ou corpo da barreira é provavelmente a parte mais facilmente reconhecível, visto ser a maior secção e aquela que mais obstrui a visão. Isto também acontece porque os princípios de construção de barreiras aconselham que as suas secções não sejam demasiado desproporcionais na sua altura. No projecto de barreiras todos os aspectos devem ser considerados, desde seguir a topografia à inclusão de aterros onde as barreiras serão colocadas. Em áreas rurais para diminuir o seu impacto visual, é muitas vezes utilizada uma secção transparente no seu topo, enquanto a secção média deve ser apenas constituída por um material ainda que possa ser sujeita a mudanças de forma e cor (Figura 4.1).

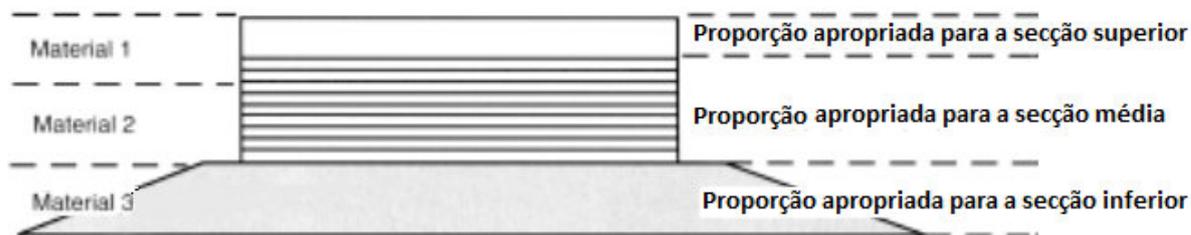


Figura 4.1 - Proporções das secções das barreiras, adaptado de [27]

4.1.3 Secção Inferior

A secção inferior das barreiras pode estar muitas vezes encoberta por vegetação. No passado era visto como essencial que esta secção não tivesse aberturas por onde o som pudesse passar, no entanto, verificou-se que quando se deixa algumas aberturas a drenagem das águas ocorre mais facilmente, permitindo a passagem de animais para além de diminuírem os custos de manutenção, uma vez que o contacto entre o solo e a barreira é impedido, havendo menos corrosão desta.

A base tem que ter uma proporção apropriada comparativamente com as secções médias e superior, para isso muitas vezes são utilizadas plantas que conferem um aspecto mais complexo e de maior altura. Outro aspecto a ter em conta, é a drenagem, como foi referido anteriormente. É portanto importante ter em consideração possíveis operações de manutenção e limpezas tanto nas vias de comunicação, como na barreira em si.

4.2 Fachadas das barreiras

Uma barreira acústica tem duas fachadas. A fachada voltada para o tráfego, e a fachada voltada para a área que protege. Em alguns casos elas podem ser tratadas da mesma forma, mas na maioria das vezes são tratadas de forma diferente, uma vez que as barreiras acústicas apenas reduzem o som proveniente de uma direcção. A fachada frontal difere geralmente da traseira devido à necessidade de suportes, mas a principal diferença prende-se com o facto de cada uma das barreiras ter que reflectir o aspecto e carácter do ambiente que a rodeia, e ele geralmente difere da parte frontal para a parte traseira. Um lado da barreira pode não ser tão visualmente importante como o outro, onde por exemplo a barreira pode estar coberta por vegetação.

4.3 Perfis verticais

O perfil vertical das barreiras é de extrema importância. Se a barreira incorporar uma mota de terra, é o próprio ângulo dessa terra que vai conferir o próprio perfil, por outro lado, se a barreira for composta de materiais rígidos, eles podem ser erigidos verticalmente, inclinados, em perfil curvo ou em barreiras em consola.

O perfil da mota de terra pode dar a sensação de ser mais complexo do ponto de vista de projecto se tiver linhas bem definidas e for ajardinado. Contrastando com isto, se a mota tiver linhas menos definidas, ângulos menos exactos, e não tiver ajardinamentos com padrões bem definidos e menos complexos, vai parecer mais natural e pode mesmo parecer que a estrada foi executada em aterro. A este fenómeno dá-se o nome de falso aterro.

O ângulo da barreira não só vai ter efeito na direcção para onde o som é reflectido, como também tem importante impacto visual. Se a barreira for inclinada ou curvada, pode parecer que não se trata de uma barreira acústica, não criando uma sensação de confinamento para os

condutores, mas podendo causar para os peões, caso haja um passeio na sua retaguarda (Figura 4.2). Neste caso, só é aceitável se a barreira for de altura baixa ou executada em materiais transparentes. Elas estão geralmente inclinadas de 3° a 15° a partir da posição vertical, dependendo deste ângulo dos materiais em que são construídas, dos suportes, e do ambiente que as rodeia.

As barreiras em consola por sua vez, podem variar muito nas suas formas e tamanhos, dependendo da sua função. Na maioria dos casos elas reduzem o impacto visual de fora da via confundindo-se com o espaço envolvente se forem executadas em materiais transparentes. Este tipo de barreiras têm como vantagem reduzir a altura das barreiras, uma vez que se coloca uma parte da barreira mais perto da fonte. O custo é um factor muito importante, e que deve ser tido em consideração, uma vez que este tipo de barreiras vai necessitar de fundações e fixações mais robustas do que uma barreira comum.

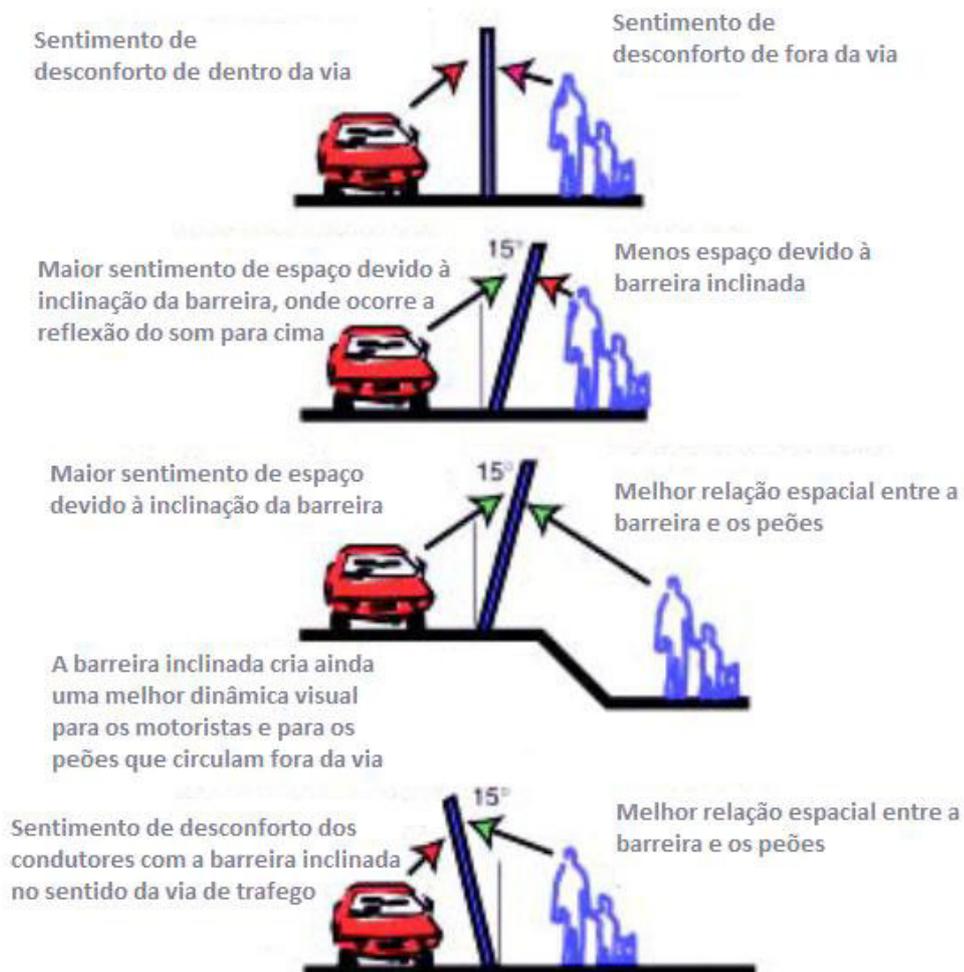


Figura 4.2 - Barreiras inclinadas e efeitos espaciais, adaptado de [27]

4.4 Estruturas de suporte e fundações

Como em qualquer outro projecto, a estrutura de uma barreira, para além de funcional, deve aportar uma agradabilidade estética, sendo assim um elemento diferenciador na paisagem. É também importante ter em consideração que estará sujeita a acções elevadas, como cargas e força do vento, e que terá que cumprir com as diferentes exigências de engenharia.

O impacto visual das barreiras é um factor muito importante, e cabe ao projectista, enfatizar, diminuir, ou mesmo dissimular a fachada de forma a dar um aspecto uniforme à barreira, de acordo com o objectivo que melhor se adequa à situação. Deve ainda ser considerado que quando se projecta uma barreira com secções muito compridas e sem elementos diferenciadores se pode estar a criar uma estrutura monótona. Um exemplo deste tipo são as barreiras feitas em betão armado, que muitas vezes constituem telas muito apelativas para quem faz grafites. Nestes casos, o uso de elementos perfurados ou superfícies texturadas, que quebrem a superfície regular da barreira, são altamente recomendáveis, ou colocação de vegetação em frente das barreiras. Apesar do aumento do tipo de barreiras, a maior parte de projectos em pequena escala ainda se executa em painéis que são posicionados entre estacas. Estas estacas podem ser cravadas no chão ou colocadas numa fundação em betão.

O próprio solo e as suas características são muito importantes a ter em conta no projecto de uma barreira. Quando posicionadas no topo de uma mota de terra, as fundações são de crucial importância, uma vez que as estacas terão que ser cravadas a uma maior profundidade até atingir o solo abaixo do aterro.

As fundações são ainda um factor de extrema importância no custo total da barreira e na sua segurança, uma vez que suportam a acção do vento.

4.5 Visão das barreiras em velocidade

A velocidade afecta a forma como vemos as barreiras. Para um condutor, a barreira é usualmente vista em andamento, significando que o seu design deve ser feito com linhas simples e facilmente perceptíveis. Mudanças de padrão, cor, ou textura, ao longo do sua extensão podem não conseguir ser distinguidas pelo condutor criando uma falta de harmonia à medida que ele se vai apercebendo as diferentes características a passar pelo seu campo de visão. No entanto as barreiras acústicas não são só vistas pelos condutores, mas também pelos

residentes locais. É portanto necessário ter em consideração a forma como eles vêm a barreira e também a forma como ela se insere no espaço que a rodeia.

4.6 Barreiras de duas fachadas

Como já foi referido anteriormente, não é comum os dois lados das barreiras serem iguais, uma vez que, apenas a um deles é exigido absorver ou reflectir o ruído. As diferenças entre os dois lados da barreira vão ser determinadas pelas suas características estéticas e acústicas. Assim sendo, o lado voltado para o tráfego pode ter padrões ou cores mais vivas, enquanto o outro lado que poderá estar voltado para habitações deverá ser mais discreto. Aqui a fachada deverá mais simples e projectada para melhor se confundir com o meio que a rodeia.

A maior parte dos tipos de barreiras poderá ser concebida desta forma, excepto óbvias excepções, tais como as barreiras transparentes e as bio-barreiras. Nestas deverão ser levados a cabo cuidados diferenciados, onde a vegetação deverá ser colocada de forma diferente.

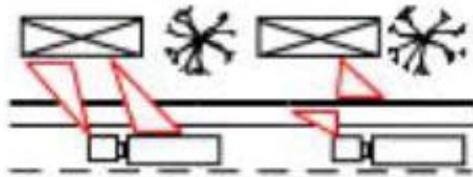
Outra consideração muito importante a ter, é a permitir aos condutores uma vista desimpedida da paisagem apesar de poder conflitar com a necessidade de atenuação do ruído, havendo assim a necessidade de encontrar uma solução de compromisso, onde estes dois factores sejam cumpridos. As soluções poderão passar pela colocação de barreiras transparentes (Figura 4.3), ou ainda pela colocação de pequenas janelas nas fachadas das barreiras, painéis escalonados (Figura 4.4).



Figura 4.3 - Barreira em painéis transparentes, [33]

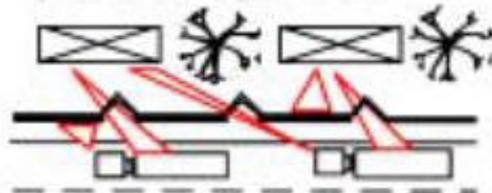
Barreira Recta

As secções transparentes possibilitam a visão, enquanto que as secções opacas não a permitem



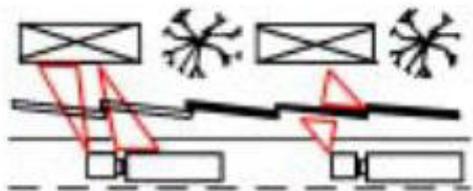
Barreira Recta com janelas ocasionais

As secções transparentes possibilitam visão parcial, enquanto que as secções opacas não a permitem



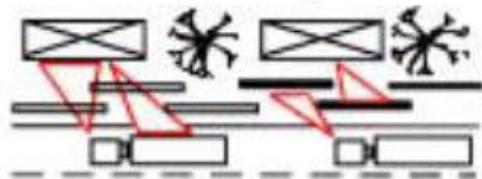
Barreira Escalonada

As secções transparentes possibilitam a visão, enquanto que as secções opacas não a permitem



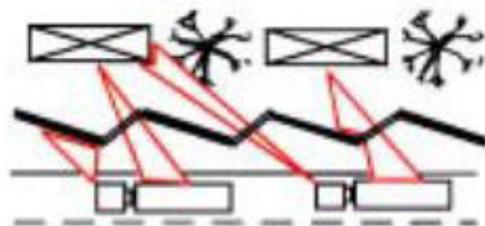
Barreira com painéis afastados entre si

As secções transparentes possibilitam visão parcial, enquanto que as secções opacas não a permitem



Barreira em Zig-Zag

As secções transparentes possibilitam a visão, enquanto que as secções opacas não a permitem



Barreira em degrau

As secções transparentes possibilitam visão parcial, enquanto que as secções opacas não a permitem

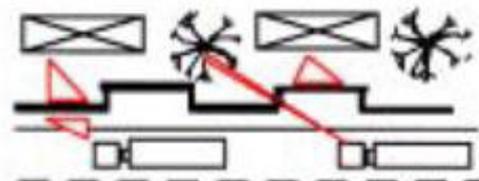


Figura 4.4 - Arranjo de barreiras, transparência vs. Opacidade, adaptado de [27]

4.7 Padrão

Aplicar padrões, ou gerar padrões de luz e sombra criados por elementos das barreiras é uma ferramenta muito importante para os projectistas, mas devem ser utilizados com o devido cuidado. Os padrões por muito simples que sejam podem parecer desajustados, ou mesmo inúteis. Quando necessários eles devem ser sofisticados e arrojados, porque se forem demasiado subtis podem não funcionar quando são vistos pelos condutores (Figura 4.5). Eles devem ser uma parte integrante da barreira e estar em concordância com os seus restantes

elementos, quando aplicados em tratamentos de superfície ou pintados directamente raramente funcionam correctamente, excepto em barreiras transparentes. Nestas, a colocação de linhas brancas como elementos dissuasores para impedir o choque de aves, ou outro tipo de embelezamentos, faz-se aplicando decalques, ou pondo esses efeitos no interior das folhas de acrílico (Figura 4.6).



Figura 4.5 - Aumento do interesse visual através da utilização de um padrão arrojado, [25]



Figura 4.6 - Aplicação de decalques em barreiras transparentes, [31]

4.8 Textura

A textura de uma barreira é essencialmente definida pelo material que a compõe, apesar de muitas vezes à distância, ou ao viajar, pareça ao condutor que esse padrão é inexistente. A textura do material não deve afectar portanto a qualidade visual da barreira, excepto numa vista muito aproximada. Assim por exemplo, a natureza porosa do tijolo é perdida quando se vê ao longe (Figuras 4.7, 4.8).

A vegetação pode ainda ajudar a aumentar a complexidade e interesse visual da barreira.

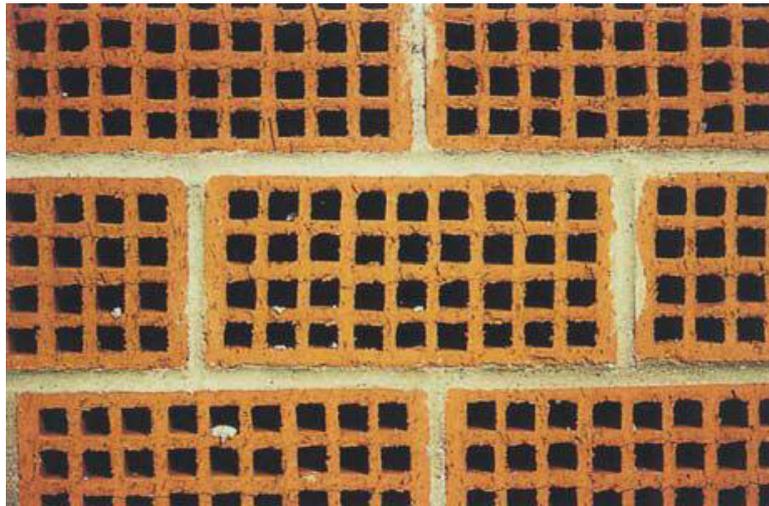


Figura 4.7 - Detalhe da textura de um tijolo, [27]



Figura 4.8 - A textura torna-se menos evidente à medida que nos afastamos da barreira, [27]

4.9 Cor

A cor é um dos factores mais determinantes para qualquer elemento de arquitectural e um decisivo para determinar o carácter visual e qualidade da barreira. Um problema e desafio importante em zonas temperadas são as mudanças de estação. Isso é particularmente importante em zonas rurais, onde a cor escolhida para se confundir com o ambiente que a rodeia no verão se pode tornar demasiado evidente no inverno.

A cor, como todos os outros aspectos de design deve ser escolhida por uma razão, e não só porque era a que estava disponível. A cor, tal como a textura, é determinada pelo próprio material, apesar de poder ser mudada através da utilização de tintas. As cores metálicas dão uma aspecto moderno as barreiras, as cores verdes e castanhas dão um aspecto natural, as cores mais vivas como vermelhos, amarelos ou laranjas são mais ousadas e passam a imagem de uma solução mais arrojada e são geralmente uma declaração arquitectural. Estas cores são mais utilizadas com sucesso em áreas urbanas ou suburbanas e raramente com êxito em áreas rurais. Brancos, cinzentos, vidro, cores metálicas, e cores mais esbatidas são também bem aceites pela população em geral.

Em áreas rurais ou semi-rurais, cores mais esbatidas como cor de madeira, verde azeitona, e alguns cinzentos funcionam muito bem e dão uma sensação de tranquilidade.

Relativamente à utilização de vidro ou acrílicos com cor, deve ter-se muito cuidado em não escolher tons de azul e cinza pois estes tendem a distorcer a cor do céu e podem não se inserir correctamente no ambiente que as rodeia. Cor-de-rosa, amarelo, e bege, são cores pouco indicadas por não se inserirem bem no ambiente envolvente.

Muitas vezes, a cor e o seu tom são gradados de um tom mais escuro no fundo para um tom mais claro no topo, de forma que ser visto em contraste com o céu. Esta solução é bastante eficaz e funciona melhor quando essa gradação é feita de forma subtil.

4.10 Luz e sombras

Quando a luz embate na barreira, as sombras criadas pelos diversos elementos seus constituintes, criam belos padrões que constituem um elemento visual tão importante como a cor e a textura.

Ao escolhermos a barreira, o seu design, e cor, devemos preocupar-nos em saber se ela irá estar sujeita a incidência directa da luz solar, se estará parcialmente á sombra, ou totalmente à sombra. Assim sendo, uma barreira que esta posicionada na direcção Norte – Sul irá receber a luz do sol directamente num lado, enquanto o outro estará á sombra à medida que o dia vai passando. Um alinhamento Este – Oeste pode ter sempre um lado á sombra, necessitando este lado de uma cor mais forte para alcançar o efeito desejado.

A luz ao incidir na barreira cria ainda efeitos agradáveis à vista dependendo da intensidade da luz, do estado do tempo, do ângulo do sol, da hora do dia, entre outros. Isto adiciona à barreira alguma complexidade e interesse, especialmente em áreas urbanas onde as barreiras normalmente estão mais próximas das populações (Figura 4.9).

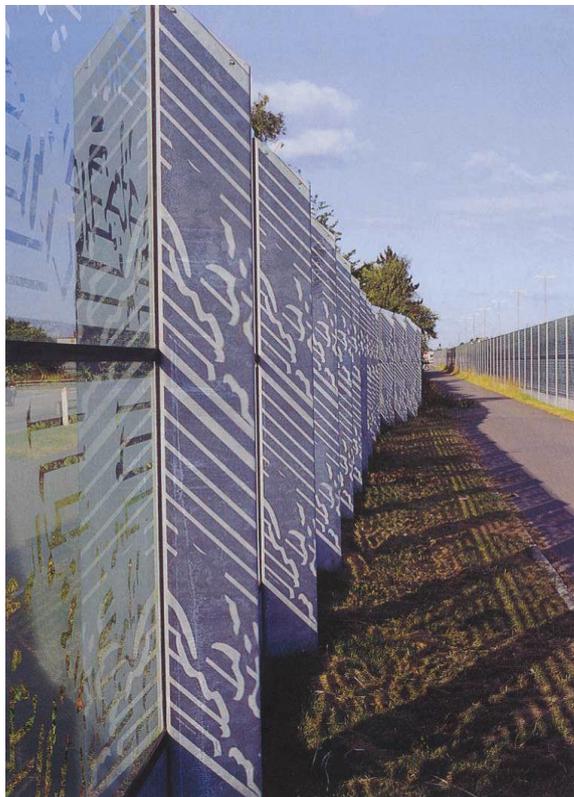


Figura 4.9 - Os efeitos da incidência da luz solar, aumentando a complexidade e o interesse visual, [27]

4.11 Perfil

Puxando e empurrando a superfície da barreira, processo muito importante para as barreiras do tipo absorvente, podemos aumentar a área de contacto da barreira com o som, conseguindo assim uma melhor absorção deste. Estas barreiras tem várias vantagens, são mais dissuasoras

para os grafiteiros que as barreiras mais comuns e também são visualmente mais apelativas porque o seu aspecto varia ao longo do dia, à medida que vão criando sombras nos sulcos.

Ao criar este processo, em termo de ângulos, concavidades e convexidades, vamos afectar a reflexão do som. Uma forma côncava vai reflectir o som de volta à fonte, por outro lado, uma forma convexa vai reflectir o som para o céu. Esta técnica aumenta o interesse visual das barreiras (Figura 4.10).



Figura 4.10 - Aumento do interesse da barreira, pela introdução de mudanças no seu perfil, [27]

4.12 Materiais e design

Historicamente os projectistas de barreiras acústicas têm tratado o seu design como se se tratasse de uma fachada de um edifício. Hoje em dia, no entanto, elas têm um estatuto especial, que permite integrar a sua forma com a sua função, independentemente do lugar onde forem colocadas. Com os materiais e técnicas mais avançadas actualmente em uso, é possível integra-las correctamente no século XXI permitindo que resistam bem à passagem do tempo, pelo menos durante a sua vida útil, que é de 40 anos.

As duas principais razões para que elas não estejam integradas de forma harmoniosa na paisagem urbana são, a sua função e o seu custo. Apesar de não haver dúvidas que a função é o principal motivo para a sua construção, tem que se ter em consideração o ambiente onde ela é inserida, e não usar apenas barreiras genéricas já pré fabricadas, porque apesar de cumprirem com os requisitos acústicos, fazem muito pouco para melhorar a qualidade do lugar onde se inserem. A barreira só devera ser projectada depois de um exaustivo estudo do ambiente onde será construída, dos materiais, cor e padrões da vegetação e do contexto histórico do local. O arranjo da vegetação, manutenção e segurança, na sua zona envolvente deve ser considerado, pois isso contribui para a sua impressão visual global. Quando tudo isto for concluído, ai sim, já se pode avançar para a sua construção.

Devido às conSPIrações acústicas, são geralmente posicionadas o mais junto possível as fontes de ruído de forma a serem mais eficazes. Todavia, em certas localizações, é preferível deixar algum espaço dos dois lados da barreira, uma vez que estes espaços desempenham algumas funções visuais. Primeiro a distância permite ao condutor manter algum espaço entre si e a barreira, evitando assim a sensação de claustrofobia, Diminui ainda a escala da própria barreira e mais importante, permite ao projectista ter espaço para plantar vegetação, que é um elemento crucial de design. O uso destes espaços pode conflitar com os objectivos acústicos das barreiras, devendo assim alcançar-se soluções de compromisso (Figuras 4.11 e 4.12).

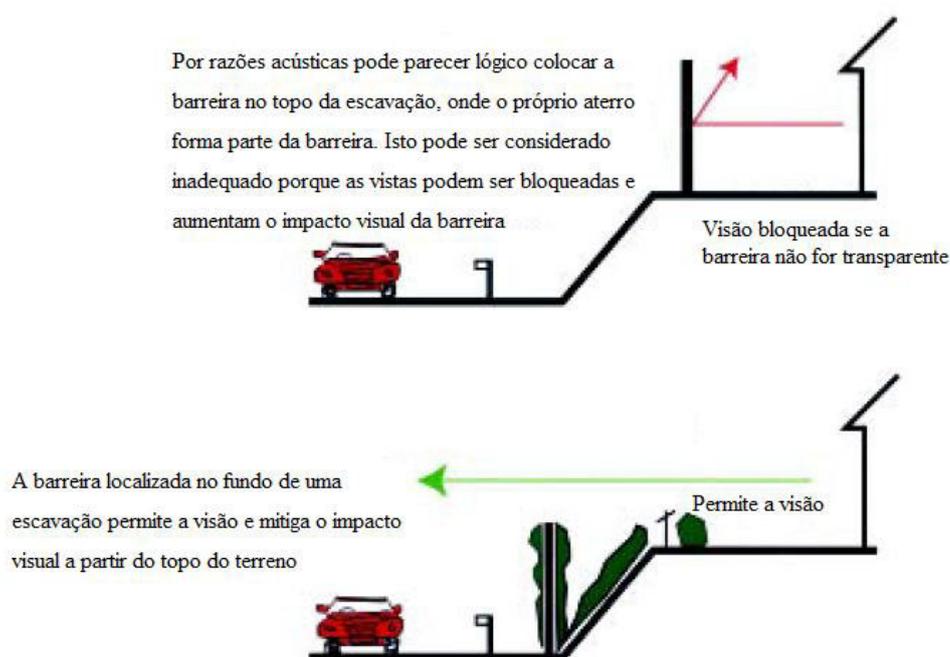


Figura 4.11 - Aterro, barreiras e visão, adaptado de [27]

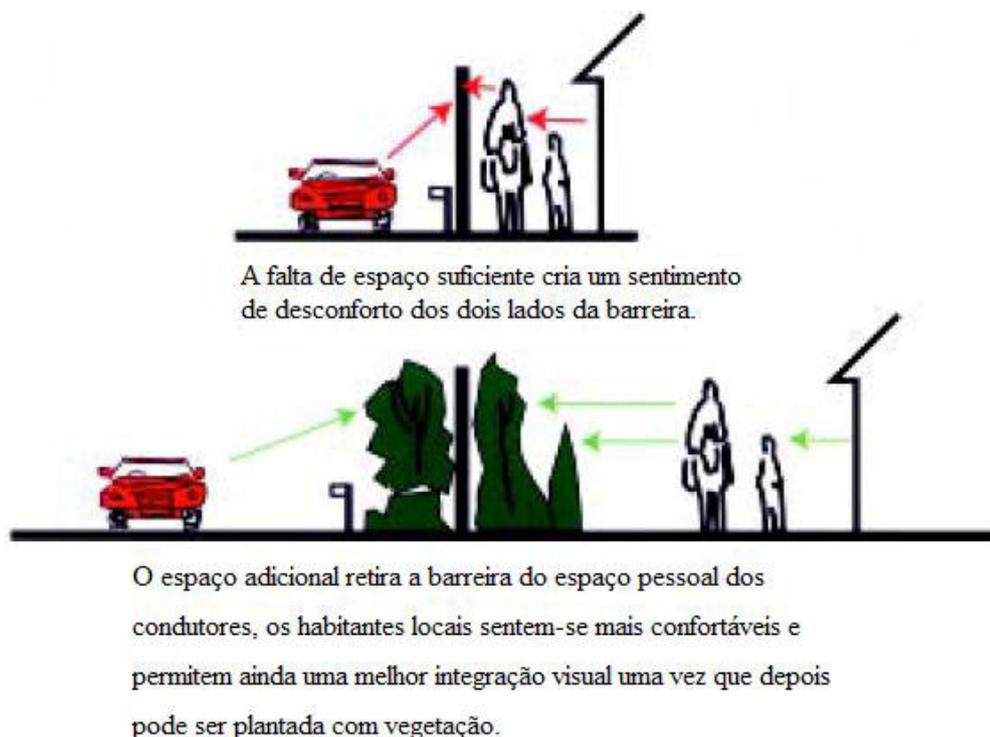


Figura 4.3 - Barreiras e a necessidade de espaço, adaptado de [27]

Colocar a barreira em escavação, é uma técnica muitas vezes utilizada para reduzir o ruído, sendo no entanto necessário colocar mais protecção para reduzir o ruído aos níveis desejados. Para esse efeito, a solução mais comum consiste na colocação de uma barreira no topo do talude, o que pode comprometer os benefícios visuais alcançados pela escavação. Neste caso deve-se encontrar uma solução de compromisso, onde as considerações acústicas e as considerações visuais sejam ambas cumpridas.

O custo obviamente tem um papel muito importante no design das barreiras. Todavia ele deve ser devidamente equilibrado com os impactos ambientais e visuais, e os efeitos potenciais sobre a qualidade de vida. Deve ser lembrado ainda que as barreiras farão parte da paisagem por um longo período de tempo, e é importante que estas estruturas e os materiais que compõem possam resistir ao teste do tempo, e isso não acontecerá se a qualidade visual da barreira, for sacrificado por razões de redução de custos.

4.13 Escolha de materiais – Neutralidade visual e compatibilidade

Uma forma de escolher os materiais para uma barreira, atendendo às considerações estéticas, é articular as características da paisagem rural ou urbana de uma forma neutra com o carácter dos próprios materiais. Assim, por exemplo, em zonas agrícolas rurais, onde o carácter predominante inclui a própria terra, relva e as árvores e arbustos nativos, faz sentido colocar a barreira no topo de uma mota de terra, com relva, árvores e arbustos locais. Outro caso por exemplo, será quando uma barreira é colocada numa floresta, pode ser adequado utilizar madeira ou outros materiais orgânicos, que são visualmente mais concordantes com o carácter do meio ambiente que a rodeia. Barreiras transparentes, que são visualmente neutras, também tendem a ser visualmente eficaz em paisagens rurais.

Quando por sua vez, o ambiente a inserir a barreira é urbano, dominado por vias de comunicação e com edifícios claramente visíveis, o mais adequado será o uso de materiais não orgânicos, como por exemplo o uso de painéis manufacturados tratados de forma a melhor se inserirem nessa paisagem (Figura 4.13).

A questão da compatibilidade torna-se ainda mais importante, e mais difícil de tratar quando é necessária mais do que uma barreira sonora. Estas situações ocorrerem geralmente quando as barreiras são necessárias dos dois lados da faixa de rodagem, em vias com varias vias de trânsito em cada sentido, onde a existe a necessidade de colocar barreira no separador central, ou ainda quando uma rodovia se desenvolve paralelamente à ferrovia e se coloca uma barreira entre elas.



Figura 4.43 - Exemplo de cores e materiais bem escolhidos, que se integram bem no ambiente que as rodeia, [27]



Figura 4.54 - Exemplo do uso de vegetação para unificar o aspecto visual, [27]

É recomendado nestes casos que os seus materiais constituintes sejam cuidadosamente articulados entre eles para conseguir um bom produto final. Isto pode ser conseguido pela utilização de barreiras com cores similares, mas muitas vezes o principal método é a utilização de vegetação como tema unificador (Figura 4.14).

5 TIPOS DE BARREIRAS E MATERIAIS

Em geral as barreiras acústicas podem ser caracterizadas como sendo de três tipos. Elas podem ser reflectivas, absorventes e reactivas, e a sua escolha vai ser determinada, pelo menos numa fase inicial, pelos factores acústicos que por sua vez influenciarão um vasto número das suas características. Pela sua natureza, as barreiras absorventes e reactivas, são sempre opacas, enquanto que as barreiras reflectivas podem ser opacas ou transparentes, permitindo assim que se possa ver através delas, e não bloqueando a luz como no caso das barreiras opacas.

As barreiras absorventes contêm elementos porosos que absorvem o som, e que formam a superfície da barreira como é o caso do betão. Em casos como o da lã de rocha, material menos resistente, vão estar protegidos por uma capa, como aço, alumínio, madeira ou tijolo, onde o lado perfurado está voltado para a fonte do ruído.

As barreiras reactivas são aquelas que incorporam cavidades ou ressoadores com a função de atenuar determinadas frequências do espectro sonoro. O som entra nessas cavidades por pequenas aberturas ou orifícios na face da barreira onde depois é reflectido continuamente até perder a sua intensidade e energia do som é transformada em calor.

5.1 Motas de terra ou aterros

As motas de terra ou aterros são muitas vezes aplicados em projectos de atenuação sonora. De facto, elas são muitas vezes encontradas ao longo das vias de comunicação em zonas rurais, semi-rurais e mesmo em zonas urbanas e semi-urbanas. Se forem devidamente construídas tem vantagens claras relativamente a outro tipo de barreiras acústicas, tais como:

- Têm uma aparência mais natural, e podem mesmo não parecer barreiras acústicas;
- Dão uma sensação de mais abertura comparativamente com as barreiras verticais e em consola, evitando assim a criação da sensação de claustrofobia;
- Não requerem normalmente medidas de protecção tais como guardas de segurança;
- O seu custo pode ser mais reduzido, se houver excesso de material proveniente da construção da via;

- Tem geralmente um tempo útil de vida ilimitado.

As motas de terra podem ser convenientemente integradas no contexto da paisagem local, quando plantadas ou semeadas com relva ou outro tipo de flora local, elas podem formar uma barreira que, com o tempo pode passar completamente invisível aos utilizadores dessa via. Por outro lado, exigem uma grande disponibilidade de espaço em comparação com as barreiras verticais, uma vez que necessitam de ter uma maior altura para atingir o mesmo efeito de uma barreira vertical, nas mesmas condições (Figura 5.1).

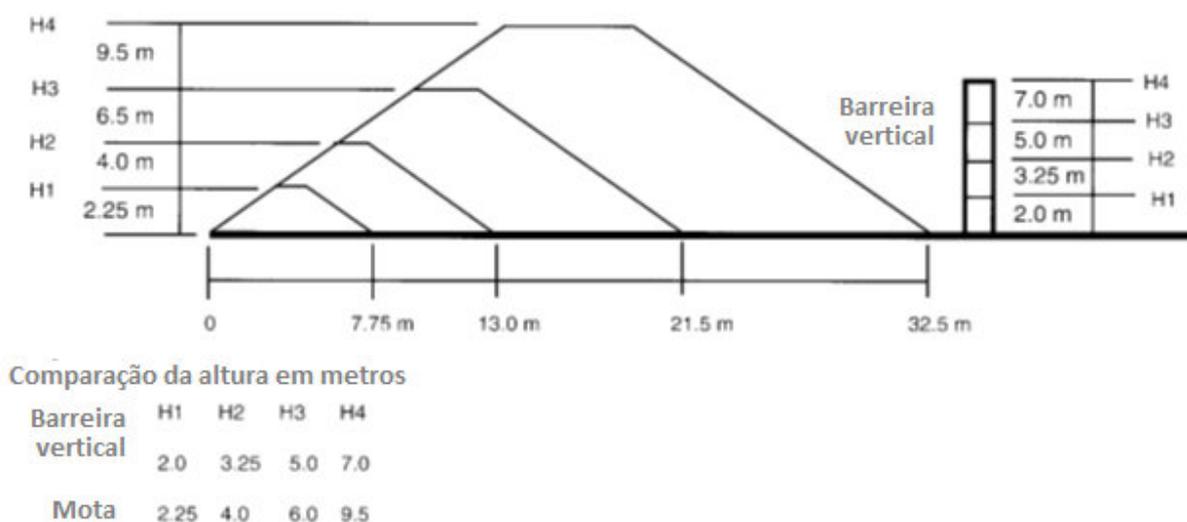


Figura 5.1 - Comparação entre a altura necessária de uma Mota de terra e uma barreira vertical, adaptado de [27]

Como qualquer outro tipo de barreira, existem dois lados de uma mota de terra. As encostas de cada lado poderão ser projectadas de forma diferente uma da outra, dependendo de vários factores, sendo eles:

- A necessidade de performance da barreira, ou seja a quantidade de redução exigida;
- A natureza geotécnica do material que a compõe;
- A altura da mota de terra comparativamente com a topografia envolvente;

- A disponibilidade de espaço existente;
- O carácter da paisagem onde está inserida e o uso do solo.

O ângulo da encosta vai ainda ser determinado pela necessidade de colocar essa face o mais próximo possível da fonte de ruído, o que irá permitir que a altura seja inferior do que seria, se tivesse um ângulo menos pronunciado. Todavia quanto mais inclinados os ângulos das encostas da mota, mais difícil será a sua construção, colocação de vegetação, e manutenção. Estas encostas mais íngremes, tendem a parecer pouco naturais na paisagem, ainda que em áreas urbanas esse problema é menos importante. De notar ainda, que vista da rodovia, o facto de parecer pouco natural não é um factor decisivo, uma vez que a própria rodovia também não o é. No outro lado, que está voltado para a paisagem natural, é diferente, e todos os esforços para fazer que se assemelhe com a paisagem devem ser tomados. Pode-se ainda colocar uma barreira vertical no topo para aumentar a sua capacidade de redução do som.

Outro problema no que concerne às motas de terra é a expropriação de terras, e que é em geral um processo bastante oneroso. Existem por isso pressões para construir as motas o mais íngremes possível de forma a ocupar menos espaço. Neste tipo de casos, o conselho de engenheiros geotécnicos é necessário para determinar o ângulo máximo possível dos taludes, sem que haja deslizamentos de terras. Na maioria dos casos as motas costumam ser construídos em gradientes de 1:2 a 1:3. Para além desse facto, como já foi anteriormente referido as encostas vão ser semeadas com relva ou outro tipo de vegetação, que irá necessitar de constante manutenção, e que será dificultada caso o talude for muito íngreme.

Quando decidimos o gradiente da mota, deve-se levar em consideração a sua drenagem, assim como a drenagem da área envolvente, não esquecendo ainda que a água vai descer em direcção ao sopé, ficando o topo da mota mais seco, influenciando o tipo de plantas a usar.

Estruturas com gradientes superiores a 1:1 e até 1:0.5 poderão ser alcançadas através da utilização de muros de contenção. Apesar de existirem muitos tipos disponíveis deve-se ter o cuidado em escolher um que se adequa ao ambiente circundante.

5.1.1 Motas de terra e plantio

O plantio nas motas de terra é feito por várias razões. A primeira é estabilizar a estrutura, uma vez que as raízes das plantas ajudam o solo a solidarizar-se, e assim prevenir deslizamentos de terra para além de poderem absorber a água que escorre pelas encostas abaixo. A segunda é estética, para se poder incluir harmoniosamente na paisagem envolvente (Figura 5.2). Para que isso aconteça, a vegetação deve ser colocada tanto no sopé da mota como entre a via e a mota, ajudando assim a disfarçar a estrutura. O tipo de plantas e onde as colocar, vai depender do ângulo da encosta, porque por exemplo quando no verão a quantidade de chuva decrescer algumas plantas podem morrer uma vez que no topo da barreira o nível de humidade será menor que no sopé. Desta forma deve-se colocar plantas mais frágeis no sopé e plantas mais resistentes no topo da barreira, uma vez que a utilização de sistemas de rega traria custos consideráveis para o projecto.

A qualidade do design e manutenção da barreira é um factor muito importante que afecta a aparência da via de comunicação. É por isso fácil de entender, que um ambiente bem conservado, cria tanto nos condutores como nos habitantes locais, uma sensação de bem-estar, cabendo ao projectista e autoridades redobrar esforços para que o ambiente criado esteja e se mantenha em bom estado.



Figura 5.2 - Exemplo de uma mota de terra bem inserida na paisagem envolvente, [27]

5.2 Barreiras em madeira

As barreiras acústicas em madeira são pouco utilizadas em Portugal. Na Europa existe uma vasta variedade deste tipo de barreiras, que serão abordadas neste trabalho. As barreiras em madeira são mais apropriadas para utilização em áreas rurais, ainda que o seu uso, em ambientes semi-rurais ou urbanos desde que com critério pode ser aceite em alguns casos particulares. Quando colocadas perto de casas, ou juntos a passeios, elas devem ser construídas à escala humana de forma a não parecerem ameaçadoras. Em pontes ou viadutos, não é boa prática coloca-las, não pela falta de capacidades acústicas, mas porque o seu carácter rústico não se conjuga bem com os materiais dessas estruturas (Figura 5.3). A sua natureza conjuga melhor com vegetação. Por questões de segurança, o seu uso é também desaconselhado, uma vez que em caso de acidente fornecem pouca protecção aos utilizadores da via. Outra situação em que a madeira deve ser evitada é quando as barreiras necessitam de ser inclinadas por razões acústicas, uma vez que pela sua natureza é esperado que elas estejam verticais.

A madeira pode ser usada em barreiras reflectivas e absorventes, ainda que nas absorventes apresentem características medianas. A sua aparência pode variar de acordo com o tipo de madeira utilizada, e dos tratamentos feitos na sua superfície, sejam eles pinturas ou envernizamentos. Quando utilizadas em longas distâncias devem ser intercaladas com outro tipo de barreiras, ou então devem ser utilizadas plantas para quebrar a sua monotonia e aumentar o interesse visual (Figura 5.4).

Pode-se ainda enumerar algumas desvantagens das barreiras acústicas construídas em madeira, sendo elas, ter um tempo de vida útil limitado, de cerca de 20 anos, para aumentar a sua durabilidade deve ser alvo de tratamentos fúngicos, que são ambientalmente agressivos e ainda devido a ser uma solução opaca obstrui a visão aos utilizadores da via e ao receptor.



Figura 5.3 - Exemplo da incompatibilidade entre a madeira e o betão em viadutos e pontes, [27]



Figura 5.4 - Barreira de madeira com vegetação que quebra a sua monotonia, [27]

5.3 Barreiras em painéis metálicos

As barreiras construídas em painéis metálicos são geralmente do tipo absorvente, podendo também constituir-se como sendo do tipo reflectivo. Estes tipos de barreiras são geralmente construídas utilizando painéis perfurados de metal na fachada virada para a fonte, e por painéis de alumínio não perfurados na sua outra face (Figura 5.5). Tanto o aço como o alumínio podem ser alvo de tratamentos que lhe permitem aumentar a sua durabilidade. No caso do aço ele é revestido a plastisóis ou tintas de esmalte ou ainda materiais galvanizados. Ocorre ainda muitas vezes a utilização de aço inoxidável, uma vez que ele tem uma grande durabilidade e resistência à corrosão, não necessitando de revestimentos para sua protecção. O alumínio é muitas vezes utilizado em detrimento do aço por ser mais leve e não enferrujar, ainda que seja mais caro que o este. Tratamentos como o revestimento com tinta de esmalte ou anodização são ainda possíveis para garantir a sua durabilidade.

Entre estes painéis, o espaço é preenchido com lã de rocha de alta densidade ou outro tipo de matérias com capacidades absorventes, constituindo assim a sua estrutura interna (Figura 5.6).

São uma solução mais adequada para utilização urbana, onde a sua integração paisagística se prova mais fácil do que no meio rural.

As barreiras em painéis metálicos têm sido extensivamente usadas por toda a Europa, por ser uma solução muito eficaz para a redução do ruído, e com uma manutenção não demasiado exigente apresentarem um período de vida útil bastante longo (até aos 30 anos).

Como principais inconvenientes pode destacar-se, a necessidade de tratamento anti-corrosão principalmente quando o material utilizado é o aço, substituição das peças afectadas para não perder a eficácia, o seu material isolante deve ser substituído quando apresenta níveis de humidade elevados, uma vez que nestas condições a sua eficiência fica comprometida. A sua integração paisagística é difícil por ser uma barreira opaca, onde se acresce ainda o facto de a vegetação colocada junto aos painéis metálicos ter dificuldade em sobreviver devido ao calor que se acumula nas suas proximidades, e apresenta ainda pouca variação de forma, ainda que as conjugações de cor possam ser ilimitadas.



Figura 5.5 - Pormenor de uma folha de aço perfurada, [27]



Figura 5.6 - Esquema de uma barreira acústica em metal com os seus vários constituintes, [29]

5.4 Barreiras em betão

O betão é um material que, quando bem projectado, moldado, executado e curado é considerado dos mais resistentes. Suporta temperaturas extremas, gelo e sol intenso, para além de ser um material que não necessita de muita manutenção e ter uma vida útil elevada, de cerca de 40 anos.

Tal como as barreiras em painéis metálicos, as barreiras em betão podem ser classificadas de acordo com o tipo de atenuação sonora que produzem, podendo elas ser do tipo reflectivo ou absorvente.

As barreiras podem ser executadas em peças de betão pré-fabricadas e depois colocadas no local, ou simplesmente construídas in situ (Figura 5.7). No primeiro caso, eles não devem ser de comprimento superior a 4.5 m por razões de transporte e construção e são assentes numa fundação contínua ou directa. A sua colocação e obra é geralmente rápida, embora necessitem de equipamentos com alguma robustez devido ao seu peso, nomeadamente camiões e guas. No caso de ser uma barreira tipo absorvente, é utilizada na composição dos painéis uma mistura de betão com fibras de madeira ou betão granular, em cerca de dois terços na face voltada para a via e um terço de betão normal na outra face voltada para o receptor (Figura 5.8). Esta superfície aumenta a área de absorção da barreira, o que maximiza a absorção do som.

Se forem betonadas in situ, podem ser utilizadas com bons efeitos práticos, desde que sejam cuidadosamente projectadas e onde o tratamento final assume uma importância fundamental para acrescentar interesse visual à barreira. Criar texturas, padrões de luz e sombras, plantar vegetação e pinturas são algumas das medidas que podem ser tomadas. Outra utilização comum é em muros de suporte, dado a sua grande resistência estrutural e resistência ao choque de veículos. Como principais inconvenientes tem o facto de ser uma solução opaca que obstrui o campo de visão aos utilizadores e receptores e as suas características cromáticas são pouco flexíveis.



Figura 5.7 - Barreira de betão betonado in situ, [25]



Figura 5.8 - Barreira de mistura de betão e fibras de madeira que lhe atribuem um carácter absorvente, [29]

5.5 Barreiras em alvenaria

Os muros em alvenaria podem ser executados manualmente in situ ou ser pré-fabricados e depois colocados em obra. A principal vantagem da sua construção manual é a de poderem seguir precisamente a topografia dando assim uma imagem de construção mais cuidada, e não necessitarem de grandes equipamentos para a colocação dos painéis. Os muros pré-fabricados têm como principal vantagem, a facilidade e rapidez de montagem, e ainda a possibilidade de serem utilizados em terrenos com alguma inclinação (até 6%).

Se forem utilizados tijolos sólidos a barreira será do tipo reflectivo, e se forem usados tijolos perfurados a solução passa a ser uma barreira absorvente. São uma solução mais utilizada em zonas onde a utilização de tijolo é mais comum uma vez que se fundem perfeitamente com o ambiente circundante passando assim mais despercebidas aos utilizadores (Figura 5.9).



Figura 5.9 - Barreira acústica em tijolo, [25]

5.6 Barreiras compósitas

As barreiras compósitas, tal como o próprio nome indica são barreiras que são compostas por dois ou mais materiais (Figura 5.10). Um exemplo deste tipo é um muro de betão depois revestido a madeira, borracha, ou betão misturado com madeira. Uma vez que a variedade de combinações possível é muito extensa, torna-se muito importante conhecer em profundidade os materiais utilizados, de forma a conhecer as suas características de durabilidade, segurança e desempenho.

Assim, antes de iniciar a sua construção devemos ter em mente que, quando utilizamos alguns materiais com características elásticas diferentes, podem ocorrer fendas na barreira, a reciclagem deste tipo de barreira poderá ser difícil de fazer devido aos aditivos utilizados na sua construção, e ainda que alguns compósitos têm tendência em arder devendo por isso ser utilizados retardadores de fogo.

Como principais vantagens podemos destacar, a sua vida útil prolongada, apresentar excelentes características de absorção, e oferecer variações cromáticas praticamente ilimitadas.



Figura 5.10 - Exemplo de uma barreira composta por mais que um material, [25]

5.7 Barreiras em materiais plásticos

Há muitos materiais que podem ser usados na concepção de barreiras compostas, como por exemplo o PVC, fibra de vidro, e materiais plásticos. Pelas suas características como de versatilidade e maleabilidade, é possível transformar estes materiais de forma a parecerem-se com outros materiais já existentes no mercado actualmente. Pode-se ainda acrescentar o facto de serem reciclados (Figura 5.11).

Na sua concepção devem ser tidas em conta algumas considerações, tais como, saber que são materiais que com o passar do tempo têm tendência a perder a sua resistência à quebra e que a substituição do painel quebrado é a solução possível, aumentando assim os custos de manutenção. Alguns materiais utilizados não são estáveis podendo ter variações de comprimento significativas, criando assim falhas entre os painéis ou originar deformações, e ainda que alguns materiais não são resistentes aos raios ultravioleta, devendo por isso ter na sua composição produtos capazes de os proteger de modo a não causar uma rápida deterioração da sua resistência e da sua aparência. Por fim, podem ser susceptíveis a apresentar brilho, estando isso dependente da textura da sua superfície.

Como principais vantagens pode-se referir que, as variações cromáticas que oferecem são praticamente ilimitadas, apresenta excelentes características de absorção, tem uma vida útil bastante longa, e pode ser fabricado a partir de materiais reciclados e ser reciclado não fim da sua vida.

Como principais desvantagens podem-se considerar, a sua opacidade, que não permite a visão aos utilizadores da via e aos receptores, são materiais muito inflamáveis com emissão de fumos, gases e cinzas tóxicas e ainda que são muito susceptíveis ao vandalismo.



Figura 5.11 - Barreira em materiais plásticos, [25]

5.8 Barreiras transparentes

As barreiras acústicas transparentes são devido a sua neutralidade visual, utilizadas em locais onde o impacto visual e a necessidade de permitir a passagem da luz são factores decisivos para a segurança e bem-estar dos utilizadores. Elas podem ser executadas com recurso a vidro laminado ou temperado ou a partir de peças em acrílico ou policarbonato. Quando vistas à distância não se consegue distinguir qual o material que a compõe e geralmente a sua espessura é de 8 mm a 20 mm para o vidro e 15 mm a 20 mm para o acrílico e policarbonato.

O acrílico pode ser curvado para adicionar rigidez ao painel, permitindo assim um maior comprimento entre apoios e evitar a necessidade de elementos na parte superior da barreira, reduzindo assim a sua forma e integrando-se melhor na paisagem (Figura 5.12).

A resistência ao vandalismo e a sua transparência são dois factores adicionais a ter em conta na escolha entre um ou outro. O vidro é mais resistente a riscos do que o acrílico, mas este é mais resistente ao choque que o vidro. Relativamente à transparência, quando é requerida uma visão sem qualquer tipo de distorções o material mais adequado é o vidro temperado. Quando a questão da distorção não é de suma importância, ambos os materiais podem ser utilizados uma vez que garantem uma boa transmissibilidade da luz, apesar de, historicamente o vidro ter sido preferido relativamente ao acrílico, por este ter alguns problemas de opacidade, que foram entretanto totalmente resolvidos e darem agora uma garantia de transmissibilidade de 10 anos.

As barreiras transparentes podem ser geralmente construídas mais altas e mais perto de edifícios que outro tipo de barreiras uma vez que, permitem que os utilizadores vejam através delas não causando um sentimento de claustrofobia, permitem a passagem da luz através delas mantendo assim as condições de luz natural atrás da barreira e são geralmente pouco intrusivas não causando grande impacto visual na paisagem.

Em zonas onde seja necessário aumentar o interesse visual da barreira acústica transparente, pode-se colocar painéis coloridos nos suportes entre os painéis, ou mesmo utilizar painéis coloridos (Figura 5.13). Estas decisões devem ser tomadas de forma a não colocar em causa a sua capacidade de mitigação sonora, e a sua adequabilidade visual.



Figura 5.12 - Barreira transparente curva, [29]



Figura 5.13 - Barreira transparente que mitiga o ruído, e ao mesmo tempo aumenta o interesse visual do viaduto, [27]

5.9 Barreiras em consola

Uma barreira em consola é uma barreira onde o seu topo é inclinado na direcção da fonte sonora (Figura 5.14). Como já foi referido anteriormente no capítulo quatro do presente trabalho, elas tem um conjunto de vantagens relativamente às barreiras verticais comuns, tais como:

- Reduzem a altura total da barreira, uma vez que colocam o topo desta mais próximo da fonte de ruído;
- Diminuem o impacto visual da barreira vista de fora da via de comunicação, uma vez que o topo esta curvado na direcção oposta ao observador, parecendo assim menos alta;
- Oferecem soluções mais ousadas e estilizadas, quando o uso de uma barreira vertical comum possa parecer menos adequado;
- Quando utilizadas em rodovias de forma a criarem um túnel parcial, permite que o espaço acima deste possa ser utilizado para outros propósitos.

Estas barreiras podem ser do tipo reflectivo ou absorvente. Podem ser construídas com recurso a uma vasto número de materiais tais como madeira, painéis em aço ou alumínio, betão ou ainda ser compostas por mais de um material ao mesmo tempo, e variar consideravelmente em altura e tamanho, adequando-se assim à função a desempenhar em cada caso em concreto.

O uso de vegetação pode ser usado para conferir à barreira um aspecto mais natural e suavizar a transição entre o solo e a secção inferior da barreira.



Figura 5.14 - Exemplo da barreira em consola, [27]

5.10 Bio-Barreiras

As bio-barreiras são estruturas que incorporam vegetação como parte integrante do seu design. O seu desenvolvimento começou na década de 1990 na Holanda, mas algumas destas primeiras bio-barreiras não se mostraram satisfatórias devido a alguns problemas. A sua necessidade de constante manutenção e problemas de irrigação foram apontados como sendo os principais, no entanto nos últimos anos novos desenvolvimentos foram levados a cabo no sentido de conseguir ultrapassar essas dificuldades (Figura 5.15).

Um vasto leque de bio-barrerias com aparência natural têm sido desenvolvidas para serem alternativa às motas de terra. Elas têm a vantagem de não necessitarem de tanto espaço como as motas de terra para serem implantadas para além de criarem um habitat natural onde um vasto número de animais podem viver, nomeadamente pequenos mamíferos, insectos e reptéis (Figura 5.16).

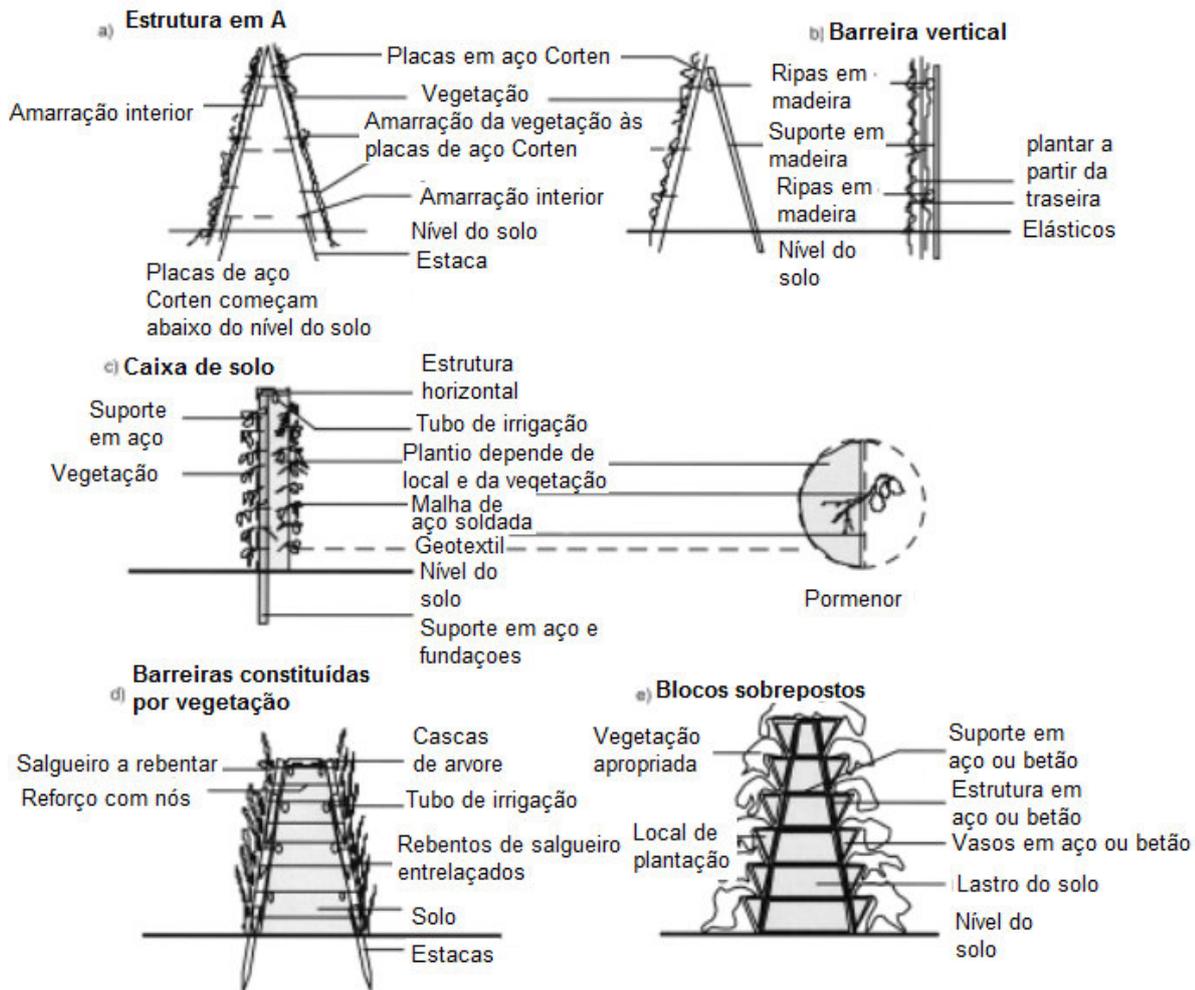


Figura 5.15 - Tipos de bio-barreiras, adaptado de [27]

A experiência mostra que para que as bio-barreiras possam ser implementadas com sucesso, devem ser tidos em consideração alguns aspectos, tais como:

- Compatibilidade entre as espécies de plantas e as condições do solo e tipo de solo (os solos devem ser analisados para saber a fertilidade, salinidade, acidez, contaminantes e drenagem);
- Densidade de plantas (as plantas não devem competir entre si);
- Necessidade de irrigação durante o plantio;
- Necessidade de irrigação durante períodos de seca;
- Necessidade de manutenção da barreira, nomeadamente retirar as espécies invasoras, poda, aplicar fertilizantes, e substituição das plantas mortas.

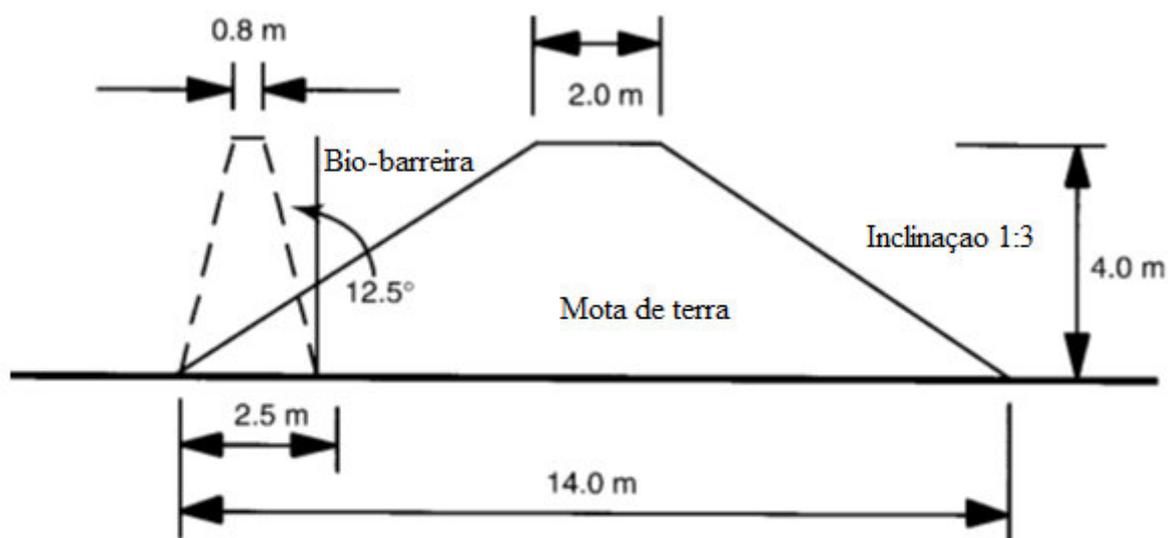


Figura 5.16 - Comparação entre motas de terra e bio-barreira, adaptado de [27]

Para uma mais fácil caracterização destas barreiras, elas estão divididas em quatro tipos, sendo elas:

- Estrutura em A e bio-barreiras verticais;
- Caixa de solo;
- Barreiras constituídas por vegetação (salgueiro);
- Bio-barreiras em blocos sobrepostos;

5.10.1 Estrutura em A e bio-barreiras verticais

A barreira com estrutura em A consiste em duas folhas onduladas de aço Corten abertas na base e ancoradas ao solo de forma a formar um vértice na outra extremidade. O aço Corten forma uma ferrugem anticorrosiva na sua superfície, protegendo assim o seu interior, para além de actuar também como barreira reflectiva com um tempo de vida útil expectável de mais de 20 anos. A matéria vegetal é colocada de forma contígua ao aço e amarrada a este por intermédio de elásticos. Deve ter-se o cuidado em não apertar demasiado as plantas para permitir que elas se desenvolvam sem qualquer problema. No início enquanto a planta não está totalmente desenvolvida, o aspecto de ferrugem do aço permite que esta se insira perfeitamente em áreas rurais. Quando as plantas já se desenvolveram completamente cobrem

o aço na sua totalidade, constituindo uma cortina vegetal e permitindo que a barreira passe despercebida no ambiente envolvente.

As bio-barreiras verticais consistem numa folha de aço Corten colocada na vertical ou ligeiramente inclinada, suportada por uma estrutura em madeira. A vegetação é geralmente colocada nos dois lados da barreira, ocultando assim a folha de aço na frente e a estrutura de madeira atrás. Deve ter-se cuidado em providenciar uma estrutura estável, uma vez que qualquer movimento pode incomodar as plantas, o que causa problemas no seu desenvolvimento.

O tipo de plantas a colocar deve ser cuidadosamente escolhido, de forma a estas não destoarem da zona onde esta barreira é colocada. Na europa o tipo de planta mais comunmente utilizado é o salgueiro, por este ser uma planta de crescimento rápido e se fixar rapidamente no novo solo depois de plantado.

Como principais inconvenientes neste tipo de barreiras pode-se referir o custo da manutenção que ela vai necessitar, uma vez que as plantas vão estar em constante mutação e irão necessitar de ser cuidadas.

5.10.2 Caixa de solo

Este tipo de bio-barreira é a solução mais utilizada na europa, e consiste numa parede de solo contida numa estrutura de malha de aço que lhe fornece suporte. Dentro desta caixa de aço, está colocado um geotêxtil que garante que o solo não saia pelas aberturas da malha de aço, e onde as plantas são depois introduzidas em intervalos verticais através de cortes feitos no material geotêxtil.

Esta barreira pode ser construída até alturas superiores a 6 m, embora na sua generalidade a altura das barreiras já construídas se situe em valores entre os 2 e 4 m e tem geralmente 0.6 m de largura, podendo no entanto, ser construídas com uma base maior e que vai diminuindo à medida que a altura for aumentando, para atingir alturas mais elevadas.



Figura 5.17 - Exemplo de uma bio-barreira em caixa de solo plantada com hera para se inserir melhor no ambiente circundante, [30]

Um factor muito importante a ter em conta, prende-se com o facto de à medida que se for subindo na altura da barreira, o solo pode não ter a água necessária para um desenvolvimento saudável da planta, sendo assim necessário instalar um sistema de rega.

Este tipo de bio-barreira é geralmente plantada com hera (hédera hélix) e adequa-se muito bem para ambientes rurais e urbanos, uma vez que possui um perfil estreito, e as plantas depois de se desenvolverem cobrem completamente a estrutura (Figura 5.17).

5.10.3 Barreiras constituídas por vegetação (salgueiro)

As barreiras constituídas por vegetação, nomeadamente salgueiro são uma solução patenteada inventada pelos holandeses e que consiste em colocar varas de salgueiro na vertical e horizontal de forma tecer uma forma de cesto, sendo ainda reforçada com recurso a cordas e estacas, e que depois é preenchido com solo (Figura 5.18). O sistema de rega pode ser incorporado no seu interior durante a fase construção. Como as varas de salgueiro rapidamente ganham raízes e são de rápido crescimento formam uma barreira bastante eficaz.

Outra solução possível passa pela colocação rebentos de salgueiro entre suportes de madeira. Após a plantação os rebentos crescem, formando assim uma barreira com uma boa características acústicas (Figura 5.19).



Figura 5.18 - Barreira de rebentos de salgueiro entrelaçados entre si, [27]



Figura 5.19 - Barreira constituída por rebentos de salgueiro no início da primavera, [30]

5.10.4 Bio-barreiras de blocos sobrepostos

Esta barreira é literalmente uma parede composta de blocos sobrepostos uns acima dos outros. A maioria delas começa com uma base mais alargada e à medida que a altura da barreira aumenta a sua largura vai diminuindo. No passado, eram utilizadas manilhas de betão colocadas umas em cima das outras e que continham solo no seu interior para que a vegetação pudesse lá ser plantada (Figura 5.20). A partir deste modelo foram desenvolvidos novos sistemas cuja aparência geral depende de factores como a manutenção e o tipo de plantas que lá irão ser colocadas.

Barreiras em prateleiras em aço é outra forma possível de construir este tipo de barreiras e consiste numa estrutura de aço galvanizado onde irão ser ancorados vasos que depois de preenchidos com solo podem ser plantados. Nesta solução deve ser incorporado um sistema de rega. A base neste caso é de aproximadamente 1.6 m de largura para uma altura de 5 m e a estrutura é inclinada 10° em relação à vertical (Figura 5.21).



Figura 5.20 - Bio-barreira composta por tubos de betão, plantada depois com vegetação, [27]



Figura 5.21 - Bio-barreira em cascata, [35]

5.11 Barreiras integradas

O termo barreira integrada é utilizado para identificar as barreiras que para além de mitigarem o som, cumprem ainda outras tarefas. Assim a primeira função de uma barreira pode ser de garagem, armazém, unidade fabril, entre outras, e ao mesmo tempo através do seu design e do local onde é colocada, actuar como barreira acústica.

Este tipo de solução para reduzir o ruído está cada vez mais a ser utilizado na Europa junto a vias com tráfego muito intenso. Um exemplo é na Holanda, onde as casas situadas junto a uma artéria principal foram construídas com armazéns na face dessa via de trânsito, actuando esta como barreira acústica, protegendo assim os jardins e as habitações do ruído proveniente da via de comunicação (Figura 5.22). Outro exemplo mais elaborado desta solução pode ser encontrado em Hong Kong, onde as garagens que servem os prédios de habitação de grandes dimensões, estão colocados junto a via de comunicação e em conjunto com uma barreira acústica colocada no seu topo, fazem a protecção das mesmas (Figura 5.23).

A exploração do potencial das barreiras integradas, é ainda um fenómeno relativamente recente, o que sugere que o projecto de barreiras acústicas está a alcançar um novo nível de maturidade.



Figura 5.22 - Um conjunto de armazéns voltados para a via protegem as habitações, [27]



Figura 5.23 - Um conjunto de prédios residenciais de elevada altura protegidos por um edifício de garagens, [27]

5.12 Túneis

Colocar a via de comunicação num túnel é a solução acústica e visual mais eficaz, mas invariavelmente a mais onerosa. Todavia onde os túneis são utilizados, permitem que o solo acima destes seja usado com os mais variados propósitos, seja na manutenção do seu carácter actual, ou para se realizarem novos projectos nesse espaço (Figura 5.24).

Um exemplo de um túnel construído acima do nível do solo é no centro de Génova, Itália, (Figura 5.25). Este túnel está construído a escassos metros de prédios habitacionais de elevada altura, numa área densamente povoada, que lhe colocou restrições no seu design. Ainda assim, ele desenvolve-se por 270 metros com uma altura de 6 metros. Este túnel é composto nas suas laterais por painéis em betão absorvente e no seu topo por painéis inclinados, permitindo a passagem parcial da luz para o seu interior, a saída dos gases de exaustão dos veículos e a atenuação do ruído do tráfego (Figura 5.26).



Figura 5.24 – Espaço público permitido pela utilização de um túnel, onde a via está inserida, [27]

As autoridades responsáveis por aquela rodovia da conta que os moradores estão satisfeitos com este túnel excepto alguns dos que moram nos pisos inferiores que se queixam de alguma perda de luz (Figura5.27).



Figura 5.25 - Aproximação ao túnel em Génova, [27]



Figura 5.26 - Vista interior do túnel em Génova, que contem painéis absorventes no tecto, [27]



Figura 5.27 - O túnel construído num viaduto protege os habitantes locais, [27]

É este nível de atenuação sonora, acrescida a de uma possível utilização do uso do solo acima deste, que faz com que os túneis sejam cada vez mais uma solução a ter em conta na mitigação sonora, em ambiente urbano.

6 ENGENHARIA, SEGURANÇA, AMBIENTE E CUSTO

Para que uma barreira acústica seja convenientemente projectada, existe a necessidade abordar todos os seus requisitos fundamentais, como as considerações de engenharia, considerações ambientais, e de segurança. O design deve ser regido pela redução do ruído como principal objectivo, sem no entanto descuidar a sua integração no ambiente, e ao mesmo tempo ser visualmente interessante, ainda que outras questões devam ser consideradas uma vez que em última análise as considerações legais e de segurança têm prioridade. Outro factor muito importante a ter em conta é o custo, sendo ele muitas vezes o principal responsável por alterações da solução primeiramente idealizada.

O Comité Europeu para a Normalização preparou um padrão para o desempenho e estabilidade de barreiras acústicas que irá harmonizar estes requisitos por toda a Europa [21,22], estando dividido em duas partes.

6.1 Considerações de engenharia

A primeira parte da norma europeia apresenta critérios para classificar as barreiras em classes de acordo com o seu desempenho. Métodos de teste de conformidade e relatórios os procedimentos são definidos para os seguintes aspectos:

- Vento e carregamentos estáticos, incluindo o efeito da carga dinâmica produzida pela passagem de veículos e carregamento estático devido à neve em barreiras não verticais;
- Peso próprio da barreira, incluindo o peso da barreira quando seca, para cálculo do isolamento sonoro por ela produzido e ainda o peso quando está molhada quando for conveniente;
- Impacto de pedras durante o normal uso da via;
- Segurança dos veículos quando colidem com a barreira;
- Cargas dinâmicas aquando da limpeza da neve.

A segunda parte da norma trata da segurança e das considerações ambientais. Os aspectos abordados são:

- Resistência aos incêndios florestais;
- Segurança secundária associada ao risco da queda de detritos depois do impacto;
- Protecção ambiental e identificação dos riscos com os materiais das barreiras ao longo tempo e com a sua eliminação depois da sua vida útil.
- Aberturas na barreira para a entrada e saída de pessoal e veículos em caso de emergência ou manutenção;
- Reflexão da luz;
- Transparência.

A segurança secundária é de particular importância quando as barreiras estão instaladas em pontes ou nos separadores centrais. Quando são usados painéis transparentes eles devem ser à prova de estilhaços, podendo isso ser conseguido utilizando vidro laminado ou acrílicos com fibra de vidro embutida no seu interior.

Em barreiras com uma grande extensão, as saídas de emergência devem ser colocadas com intervalos não superiores a 200 m e ser largas o suficiente para que por elas possam passar macas. Os utilizadores da via devem ser capazes de abrir essas saídas de emergência a partir da rodovia, mas apenas o pessoal de emergência e manutenção deve ser capazes de as utilizar a partir da sua parte traseira. Estas aberturas na barreira não devem no entanto afectar a sua performance acústica (Figura 6.1).

Esta proposta não aborda no entanto todos os factores ambientais e de segurança, e devem ainda ser considerados outros aspectos tais como:

- Manter as linhas de visibilidade exigidas para a condução;
- Evitar a criação zonas de sombra permanente que incentivam a formação de gelo;

- Sustentabilidade: Os materiais locais produzem uma solução mais harmoniosa para além de reduzirem os custos por evitar o seu transporte. A mão-de-obra utilizada deve ser local, e ainda deve ser evitado o uso de matérias não sustentáveis.



Figura 6.1 - Saídas de emergência para pessoas e veículos, [27]

Outras partes da norma europeia tratam dos factores de durabilidade dos materiais constituintes da barreira a longo prazo, onde estão especificados procedimentos técnicos para mediar a sua durabilidade aos seguintes factores:

- Agentes químicos;
- Sais colocados nas vias;
- Águas residuais;
- Orvalho;
- Ciclos de gelo e degelo;

- Calor;
- Radiação ultravioleta.

6.2 Considerações ambientais

A construção de uma barreira acústica pode influenciar um vasto número de características ambientais, variando de acordo com o tipo de barreira a utilizar e com o projecto, como por exemplo:

- Mobilidade – O potencial de impedir a normal circulação de pessoas e de outras actividades;
- Perda de terreno – A potencial de perda de terrenos agrícolas, e do valor paisagístico do local;
- Conservação da natureza – O potencial de cortar e perturbar os hábitos e habitats da vida selvagem, incluindo mamíferos, invertebrados, e aves, uma vez que criam um obstáculo muitas vezes intransponíveis para eles.
- Hidrologia local – O potencial de alterar os sistemas de drenagem natural que podem causar efeitos negativos para o meio ambiente;
- Stress no condutor – Os impactos causados nos utilizadores das vias.

Apesar dos efeitos nefastos atrás citados, uma barreira bem concebida pode ser uma adição muito importante do ponto de vista ambiental. Uma mota de terra, por exemplo, ao ser construída pode constituir um novo habitat para a vida selvagem existente no local. Outro exemplo é uma barreira vertical, que pode ser usada como obstáculo para evitar que os animais tentem atravessar a via, evitando assim graves acidentes.

6.3 Custo

O custo é provavelmente o principal factor a determinar o tipo e design das barreiras acústicas em Portugal. Isto no entanto não acontece da mesma forma no resto da europa,

onde é atribuído um maior peso à sua integração visual e qualidade do ambiente. Existe assim a necessidade de tentar encontrar métodos onde a análise do custo benefício seja determinante para projectar uma barreira acústica onde o ambiente seja também equacionado, ou apenas as soluções menos dispendiosas serão escolhidas.

Na maior parte dos casos as barreiras tem sido escolhidas a partir de uma análise comparativa dos custos dos seus materiais. Na Highways Agency [23], podemos ver uma lista detalhada com estas considerações. Para além do custo intrínseco dos materiais que constituem a barreira, não se pode esquecer que o custo total de qualquer barreira vai ser afectado pelo local onde ela será construída.

Assim sendo, no custo total da barreira, tem necessariamente que ser considerados os seguintes itens:

- A própria barreira e todos os seus elementos constituintes;
- Os suportes e fundações da barreira;
- A compra de terra onde a barreira será construída;
- A compra de terra para arranjos paisagísticos;
- Colocação de terras e terraplanagem;
- Plantio de vegetação;
- Instalação de um sistema de irrigação.

A manutenção deve ainda ser levada em consideração no custo total de uma barreira acústica, podendo variar de acordo com o tipo de barreira utilizada. Nos dias de hoje a sustentabilidade da barreira relacionada com o seu impacto ecológico, os materiais, a energia utilizada na sua construção e a sua pegada ecológica tornaram-se elementos muito importantes a considerar no projecto destas barreiras.

7 CONCLUSÃO E DESENVOLVIMENTOS FUTUROS

O ruído pode ser entendido como sendo um som desagradável ou incomodativo para o ser humano. Ele pode ser entendido de diferentes formas por diferentes pessoas, mas no entanto acaba sempre por trazer efeitos nefastos à saúde das pessoas que o experienciam diariamente. É desta forma que a necessidade de tomar medidas que protejam os cidadãos está cada vez mais na ordem do dia, especialmente em ambientes urbanos. Existem essencialmente três formas de mitigar o ruído ambiental. A actuação na fonte, a actuação no meio de propagação e ainda a actuação no receptor. O âmbito deste trabalho foi estudar as formas de mitigação do ruído no meio de propagação, nomeadamente através da utilização de barreiras. Para alcançar este objectivo fez-se um estudo aprofundado dos vários aspectos intrínsecos à utilização das barreiras acústicas como forma de mitigação sonora e abordou-se as várias especificidades deste tipo de dispositivos de mitigação.

No início do trabalho foi feita uma breve introdução ao tema do ruído, assim como à incomodidade por ele causada, as suas fontes, a forma como ele se propaga no meio e as várias formas de o mitigar.

Numa fase posterior passou-se ao estudo mais aprofundado das barreiras acústicas e a forma como estas podem reduzir o ruído. O seu posicionamento, o comprimento, as reflexões nas barreiras e veículos, as aberturas que nelas se encontram, a sua forma, e as suas terminações são aspectos muito importantes na sua performance. Alterando estas características pode modificar-se em muito a forma como elas conseguem fazer a mitigação sonora, que é a sua principal função.

De seguida estudou-se a morfologia e design que elas podem adoptar. Verificou-se que as barreiras acústicas se podem dividir em secções para que o seu estudo seja de mais fácil compreensão. Analisou-se ainda a forma que as suas fachadas, terminações, padrões, cor e materiais, entre outros, afectam a forma como uma barreira se pode integrar no meio ambiente que a rodeia, e ao mesmo tempo se podem constituir como um elemento visual que aumenta o interesse desse espaço.

Com o estudo dos tipos de barreiras e materiais que as compõe, pretende-se ter uma ideia mais pormenorizada de cada tipo de barreira, as situações onde cada tipo é mais adequado, assim como, a maneira como as características do material afectam decisivamente o projecto de uma barreira, uma vez que cada tipo de barreiras têm vantagens e desvantagens relativamente às outras.

Por fim estudou-se as considerações de engenharia, segurança, ambiente e custos das barreiras. Pôde-se depreender que todos estes elementos, para além dos supracitados têm uma influência decisiva na sua concepção, sendo o custo o principal decisor. Neste custo estão englobados diversos itens, sendo os mais onerosos, a manutenção da barreira ao longo da sua vida útil, o custo da sua construção, e o custo dos seus materiais constituintes.

Como se pode constatar, o desenvolvimento do projecto de Barreiras Acústicas, ao contrário do que inicialmente se poderia esperar, é um processo extremamente complexo, e para se conseguir atingir os melhores resultados é necessário integrar na sua concepção uma vasta equipa multidisciplinar como, engenheiros civis, arquitectos e arquitectos paisagistas.

Deste estudo concluímos que as barreiras acústicas são elementos cada vez mais presentes no espaço físico das cidades, assim como das zonas rurais, uma vez que são elementos que alcançam plenamente o seu objectivo principal que é a redução do ruído, para além de enriquecer visualmente o espaço onde estão inseridas. De referir ainda que durante o estudo para a elaboração deste trabalho se pôde depreender que as barreiras acústicas podem ser utilizadas nos vários tipos de ambientes, sejam eles urbanos ou rurais, estando apenas dependentes de uma correcta tomada de decisões da equipa que a planeia.

Apesar de todas as vantagens que elas apresentam, deve no entanto referir-se que as barreiras acústicas também apresentam algumas desvantagens, sendo as mais importantes, o corte da passagem para algumas espécies animais, assim como para os ser humanos, e aumento do custo final dos projectos.

Em projectos futuros considera-se ainda que seria interessante desenvolver estudos de novas formas de aproveitar todo este potencial que as barreiras acústicas nos oferecem, para conseguir atingir novos objectivos.

O uso destas barreiras para a produção de energia eléctrica através da colocação de painéis fotovoltaicos, e ainda para o controlo e minoração da poluição atmosférica, é um assunto ainda pouco explorado, havendo no entanto espaço para desenvolvimentos futuros nesta área. Desta forma consegue-se, para além de uma mitigação da poluição sonora, produzir energia e contribuir para a melhoria da qualidade do ar, aumentando a qualidade de vida das populações que servem.

8 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

[1] OECD, (eds). Roadside Noise Abatement, Organisation for Economic Co-operation and Development Publications: Paris, France, 1995.

[2] Brüel & Kjær, Measuring Sound, 1984.

[3] Oliveira de Carvalho, A.P., Acústica Ambiental e de Edifícios v7.0, FEUP, 2008.

[4] Hutchins, D. A., Jones, H.W. and Russell, L. T. (1984) “Model studies of barrier performance in the presence of ground surfaces, Part 1- Thin perfectly reflecting barriers”. Journal of the Acoustical society of America, 75(6), 1807-16.

[5] Maekawa, Z. (1968) ‘Noise reduction by screens’, Journal of Applied Acoustics 1, 157–73.

[6] Rathe, E. J. (1969) ‘Note on two common problems of sound attenuation’, Journal of Sound and Vibration, 10(3), 472–9.

[7] Kurze, U. J. and Anderson, G. S. (1971) ‘Sound attenuation by barriers’, Applied Acoustics, 4, 35–53.

[8] Department of Transport and Welsh Office (1988) Calculation of Road Traffic Noise, HMSO, London.

[9] Department of Transport (1976) Noise Barriers – Standards and Materials, Technical Memorandum H14/76, Department of Transport, London.

[10] Hothersall, D. C., Chandler-Wilde, S. N. and Crombie, D. H. (1993) Modelling the performance of road traffic barriers, in Proceedings of TRL meeting, Traffic Noise Barriers, pp. 22–37.

- [11] Clairbois, J-P. (1990) Road and Rail Noise – Corrective Devices. Seminar on Acoustic Noise Barriers – The Engineered Solution to Road and Rail Noise Pollution. Institute of Mechanical Engineers, London.
- [12] Kim H-S., Kim J-S., Kang H-J., Kim B-K. and Kim S-R. Applied Acoustics, 66(9), September 2005, pp. 1102-119.
- [13] Woehner, H. (1992) ‘Sound propagation at tunnel openings’, Noise Control Engineering Journal, 39(2), 47–56.
- [14] Hothersall, D. C. and Tomlinson, S. A. (1995) ‘High sided vehicles and road traffic noise barriers’, in Proceedings of Internoise 95, Newport Beach, USA, pp. 397–400.
- [15] Shima, H., Watanabe, T., Mizuno, K., Iida, K., Matsumoto, K. and Nakasaki, K. (1996) ‘Noise reduction of a multiple edge noise barrier’, in Proceedings of Internoise ’96, Liverpool, pp. 791–4.
- [16] Alfredson, R.J. and Du, X. (1995) ‘Special shapes and treatment for noise barriers’, in Proceedings of Internoise ’95, Newport Beach, CA, pp. 381–4.
- [17] Fujiwara, K. and Furuta, N. (1991) ‘Sound shielding efficiency of a barrier with a cylinder at the edge’, Noise Control Engineering Journal, 37(1), 5–11.
- [18] Gomperts, M. C. and Kihlman, T. (1968) ‘The sound transmission loss of circular and slit-shaped apertures in walls’, Acustica, 18, 144–50.
- [19] Watts, G. (1996) Effects of Sound Leakage through Noise Barriers On Screening Performance, Sixth International Congress of Sound and Vibration, Copenhagen, Denmark.
- [20] Kragh, J. (1982) Road Traffic Noise Attenuation by Belts of Trees and Bushes, Report No. 31, Danish Acoustical Laboratory, Lyngby, Denmark.

- [21] European Committee for Standardisation (2003) CEN/TS 1794-1 Road traffic Noise Reducing Devices. Non-acoustic Performance. Part 1: Mechanical Performance and Stability Requirements, CEN, Brussels.
- [22]] European Committee for Standardisation (2003) CEN/TS 1794-2 Road traffic Noise Reducing Devices. Non-acoustic Performance. Part 2: General Safety and Environmental Requirements, CEN, Brussels.
- [23] The Highways Agency (1992) Design Manual for Roads and Bridges, Volume 10, Environmental Barriers, Section 5, Part 2 Environmental Barriers: Technical Requirements, HMSO, London, p. 9/3.
- [24] Valadas, B. e Leite, M.J.”O ruído e a cidade” 2004 Gráfica 2004
- [25] FHWA, 2000. FHWA Highway Noise Barrier Design Handbook. [Report] Washington DC : Federal Highway Administration, 2000.
- [26] IBGE, Institut Bruxellois pour la Gestion de l’Environnement. 2003. Vademecum du bruit routier urban. Bruxelles : IBGE,2002
- [27] Kotzen, Benz e English, Colin. 1999. Environmental Noise Barriers: Guide to their Visual and Acoustic Design. London : E & FN Spon, 2009
- [28] Silva, L.T., (2007). “*Avaliação da Qualidade Ambiental Urbana*”, Tese de Doutoramento. Universidade do Minho, 2007.
- [29] www.fipindustriale.it, Junho, 2013.
- [30] www.inspirationgreen.com, Junho, 2013.
- [31] www.helix-pflanzensysteme.de, Maio, 2013.
- [32] <http://edroga.pl/strona-glowna/wiadomosci-drogowe/2611-jaworzno-koniec-prac-porzadkowych-i-remontowych>, Agosto, 2013.

[33] www.acusticateoria.com.br, Agosto, 2013.

[34] www.archdaily.com.br, Maio, 2013.

[35] <http://www.lueft.de/Sonderkonstruktionen.58.0.html>, Agosto, 2013.