

## ANEXO V

Processos e tecnologias disponíveis  
para a redução do ruído urbano

## 1 INTRODUÇÃO

Este anexo pretende expor de forma metodológica quais os processos e tecnologias disponíveis para redução do ruído urbano. Procura suportar aquelas medidas que no Documento Técnico foram selecionadas como forma de intervenção, não cabendo aí o desenvolvimento justificação e detalhe das mesmas.

De forma a fazer-se cumprir a legislação nas áreas em sobreexposição referidas no ponto anterior, devem ser adotadas as medidas necessárias, de acordo com a seguinte ordem decrescente de prioridade:

- Medidas de Redução na fonte de ruído;
- Medidas de Redução no meio de propagação de ruído;
- Medidas de Redução no recetor;

Das enumeradas, aquelas que digam respeito à redução atuando-se sobre o recetor devem ser consideradas excecionais e apenas em último recurso.

### 1.1 Medidas de Redução na fonte de ruído

A redução de Ruído na fonte é a forma mais eficaz de controlar a propagação sonora que pode ser conseguida atuando, simultaneamente ou não, através de diversos mecanismos, nomeadamente através de alterações ao tipo de pavimento, adoção de medidas de gestão de tráfego ambientalmente mais eficazes, bem como de formas urbanas que protejam os habitantes mais afetados pelas fontes sonoras em causa.

#### Pavimentos

Quando se decide pela colocação de pavimentos menos ruidosos, há fatores que devem ser tomados em consideração, como forma de otimizar o seu desempenho.

Esses aspetos estão relacionados com a envolvente da estrada, o seu alinhamento horizontal e vertical, a velocidade de circulação, a composição do tráfego rodoviário, o estado de degradação dos pavimentos, as condições meteorológicas habituais e o tipo de pneus correntemente usados.

Em estradas onde são praticadas velocidades mais elevadas torna-se particularmente importante escolher corretamente uma superfície menos ruidosa, uma vez que o aumento do nível sonoro em superfícies mais duras pode ser substancialmente maior que em superfícies mais suaves.

Em ambiente urbano, uma simples repavimentação da camada de desgaste com um betuminoso simples pode muito bem ser suficiente para resolver os problemas de ruído.

Os próprios pavimentos em cubo granito, frequentemente utilizados nas zonas históricas dos centros urbanos, quando corretamente nivelados podem apresentar desempenhos acústicos favoráveis.

Muitos dos problemas de ruído rodoviário estão associados não só ao tipo e estado de degradação do pavimento, mas sim à deficiente ligação do mesmo com as caixas de visita e coletores de águas pluviais.

De uma forma geral, as camadas de desgaste poderão ser englobadas em:

- Betão betuminoso drenante de camada única (BBDr);

Os pavimentos de betão betuminoso drenante, pelo facto de serem superfícies com elevada porosidade vão permitir uma melhor drenagem da água favorecendo desta maneira a condução. Diminui a projeção de gotículas de água e do brilho na estrada em tempo de chuva e aumenta ainda a resistência ao deslizamento e à aquaplanagem.

Há uma quase eliminação do efeito corneta (horn effect) assim como uma elevada redução do ruído de compressão do ar (air pumping). As suas características de redução de ruído são baseadas no fenómeno de absorção devido à sua elevada porosidade, sendo o ruído de rolamento e o ruído do motor absorvidos.

Este tipo de pavimento funciona significativamente melhor para vias de velocidades elevadas do que para vias de velocidades reduzidas.

- Mistura betuminosa delgada (MBD);

Os pavimentos com camada de desgaste delgada em mistura betuminosa têm uma boa resistência à deformação e à fadiga, devido à sua composição com agregados e à elevada percentagem de materiais de enchimento respetivamente.

O ruído originário da interação pneu/estrada é menor, além de diminuir a projeção de gotículas de água devido à sua elevada porosidade. São superfícies com um tempo de construção muito rápidas, diminuindo assim o tempo de interrupção das vias de circulação rodoviária. É possível reciclar até 70 % dos materiais utilizados na sua construção. Possuem uma durabilidade de 12 a 20 anos dependendo da sua porosidade.

Estudos efetuados na Finlândia para MBD com agregados de 5 mm utilizados como superfícies finas evidenciaram alguns resultados: em pavimentos novos obteve-se uma redução de 3 dB(A) a 50 Km/h e de 7 dB(A) a 80 Km/h. Contudo, devido ao seu elevado uso, o ruído aumentou significativamente após um ano.

- Mistura betuminosa de granulometria descontínua (MBGD);

Os pavimentos com mistura de granulometria descontínua (MBGD ou SMA) necessitam de um cuidado especial na sua construção. É necessário ter em atenção a exata proporção volumétrica dos materiais constituintes e uma boa técnica construtiva, criando uma correta distribuição dos vazios e mástique, de acordo com as características das vias onde irá ser utilizada. Quando corretamente fabricados, originam excelentes características de condução, como são a sua suavidade, serenidade e redução da projeção de gotículas de água, resistência ao deslizamento, elevada resistência a deformações permanentes e a quebras, além de permitirem uma redução dos níveis de ruído.

- Betume modificado com borracha (BMB);

As superfícies de Betume Modificado com Borracha (BMB) são superfícies com elevada elasticidade, e resistência ao envelhecimento e à propagação de fendas, devido à junção de borracha reciclada de pneus (cerca de 22 %) ao betume tradicional.

A utilização deste tipo de pavimento é possível em vias novas e de reabilitação, tanto para estradas de elevada velocidade (autoestradas) como para vias de menor velocidade de

circulação. Em casos de vias existentes com problemas de fissuração ou de ruído elevado, são soluções aconselháveis, sendo a redução sonora proporcionada na ordem dos 5 a 6 dB(A).

O seu custo é elevado quando comparado com um piso convencional, contudo, no final de uma obra pode-se considerar que o seu custo é semelhante uma vez que devido às suas elevadas propriedades de resistência à fadiga e à fissuração, não se torna necessária uma camada tão espessa, além de determinados trabalhos prévios não serem necessários. Os custos de conservação são também menores quando comparados com soluções tradicionais.

Apresentam-se no quadro seguinte, registos de desempenho acústico de diversos tipos de pavimentos:<sup>1</sup>

Quadro 1 – Desempenho acústico de diversos tipos de pavimentos

Tipo de Pavimento	Desempenho acústico, em dB(A)						
	Veículos ligeiros			Veículos pesados			
	50 km/h	80 km/h	110 km/h	duplo eixo		multi-eixos	
	50 km/h	85 km/h	50 km/h	85 km/h	50 km/h	85 km/h	
Betão betuminoso drenante de camada única	-	76	79	-	82	-	85
Camadas de desgaste em mistura betuminosa delgada	66	72	82	77	84	-	86
Mistura Betuminosa de granulometria descontinua	71	79	82	79	85	82	88
Exposição dos agregados	-	76	84	-	86	-	87
Superfícies de betão texturado longitudinalmente	76	-	85	83	87	82	90

### Medidas de alteração de traçado

As medidas de alteração de traçado visam a redução da velocidade dos veículos, com o intuito de criar vias mais seguras, reduzindo os acidentes e a sua gravidade, reduzir a poluição sonora e criar uma qualidade de vida mais agradável aos utentes das vias e da sua envolvente através da requalificação do espaço urbano.

É importante ter a noção que estas medidas não podem ser aplicadas isoladamente e de forma aleatória, mas sim implementadas após um cuidado estudo, e em zonas onde exista uma integração lógica e coerente com a restante rede viária.

Os tipos de medidas a disponíveis são:

- Estreitamento de vias;
- Restrições de largura na entrada de intersecções, estrangulamentos provocados pelo aumento dos passeios nas zonas de cruzamentos e entroncamentos;
- Intersecções em “T” modificadas;
- Gincanas;
- Rotundas e mini rotundas;
- Bandas sonoras e cromáticas;
- Lombas;
- Plataformas, intersecções e travessias pedestres sobrelevadas;
- Limitação da velocidade de circulação;
- Limitação à circulação de veículos pesados;
- Outras medidas;

<sup>1</sup> FEHRL – the Forum of European National Highway Research Laboratories, 2006

### Estreitamento de vias

Solução onde se opta pela redução da largura da via de circulação ao longo de uma zona com a intenção de redução da velocidade de circulação. É conseguida através do alargamento dos passeios, remodelação de novos espaços pedonais ou de estacionamento automóvel. Alternativamente poderá ser concebida uma solução em que o estreitamento seja realizado no eixo da via, com a criação de separadores centrais ou zonas temporárias de peões para atravessamento da via.

É recomendado para situações de volume de tráfego moderado, como sejam zonas residenciais, não devendo a diminuição de circulação ser muito elevada, o que colocaria problemas à circulação de veículos de emergência. Deve ser conjugado com outras medidas de gestão de tráfego para potenciar a sua eficácia.

Este estreitamento não deverá ser aplicado em zonas com circulação de pesados, em face do propositado entrave à circulação.



Figura 1 – Estreitamento de vias

### Restrições de largura na entrada de intersecções

Restrições provocadas pelo aumento dos passeios nas zonas de cruzamentos e entroncamentos, dificultando a manobra de mudança de direção e aumentando consideravelmente a segurança dos peões. Isto é conseguido pela maior área pedonal e incremento da visibilidade do automobilista, em face do não estacionamento junto ao cruzamento.

É indicada para zonas residenciais centrais e vias de atravessamento de povoações, com velocidades não muito elevadas.

Em contrapartida poder-se-á citar como desvantagem a deslocalização de tráfego para zonas vizinhas, e dificuldades à circulação de veículos de emergência.

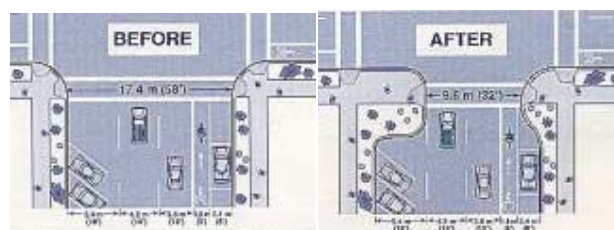


Figura 2 – Restrição de entrada de intersecções.

### Intersecções em "T" modificadas

Mudanças dos alinhamentos que convergem numa intersecção em T, obrigando automobilistas em diferentes sentidos a partilharem o mesmo espaço. Obriga a uma redução da velocidade de circulação, visto que uma das vias é de paragem obrigatória e controlada por sinalética vertical.

Pouco recomendável a zonas de circulação para pesados, em face de possíveis congestionamentos pela dificuldade acrescida na intersecção para a manobra desta classe de veículos.

### Gincanas

Conjunto de curvas em S conjugados com estreitamento de vias de circulação, construídas pela colocação alternada de obstáculos nas bermas das vias, tais como espaços ajardinados ou parqueamentos, permitindo deste modo uma redução de velocidade.



Figura 3 – Restrição de entrada de intersecções

Indicada para volume de tráfego reduzido, como áreas residenciais, permitindo ainda uma melhoria estética.

Estrategicamente implantada, impedindo o seu atravessamento em linha reta, como acontece no caso em que existem duas faixas de rodagem, o que coloca em causa a segurança dos condutores e peões.

É inconveniente para os veículos pesados e de emergência, diminuindo ainda a capacidade de estacionamento na via de circulação.

### Rotundas e mini rotundas

Intersecções onde existe um fluxo automóvel circular em torno de um eixo central, frequentemente usadas na transição de diferentes tipos de vias.

Recomendadas em locais com frequentes zonas de viragem e de inversões de marcha, sendo que se minimizam os conflitos entre veículos, organiza os fluxos de tráfego e melhora a sua capacidade e condições de fluidez.



Figura 4 – Rotundas e mini rotundas.

Como são obstáculos físicos à circulação de pesados, deverão ser pensadas como possuindo superfícies galgáveis, evitando eventuais danos no parque automóvel.

### Bandas sonoras e cromáticas

São pré-avisos para a diminuição de velocidade através de um conjunto de bandas transversais à faixa de rodagem, diminuindo progressivamente o seu espaçamento à medida que nos aproximamos duma determinada zona.

Muito simples e eficazes, mas de elevada manutenção quando em zonas residenciais centrais e de atravessamento de povoações junto áreas escolares, hospitalares, passadeiras, curvas perigosas ou cruzamentos.



Figura 5 – Bandas sonoras e cromáticas.

Poderão apresentar um efeito contrário ao pretendido, já que o ruído originado pela passagem dos veículos nas bandas cromáticas é superior à redução obtida pela diminuição de velocidade.

### Lombas

Uma das medidas mais utilizadas para a redução de velocidade da circulação automóvel. Poderão ser classificadas em dois grandes grupos: as “bumps”, lombas curtas e altas com uma altura de cerca de 10 cm por comprimentos até 1 metro, e as “humps”, lombas mais alongadas com um comprimento da ordem dos 4 metros e alturas de 10 a 12 cm, geralmente de forma circular, sinusoidal ou parabólica.

Utilização de lombas parciais ou interrompidas em locais de normal circulação automóvel diminuem os problemas na circulação para veículos de emergência.



Figura 6 – Bandas sonoras e cromáticas.

De relativo baixo custo, com eficaz redução de velocidade, mas não muito populares. Eventual incremento do nível sonoro em consequência das constantes acelerações e desacelerações, provocam aumento do tráfego em áreas circundantes e eventuais problemas de drenagem.

### Plataformas, intersecções e travessias pedestres sobre-elevadas

Estes tipos de plataformas possuem características de lombas alongadas, com a parte superior plana e as extremidades em rampa, possibilitando o seu uso por todo o tipo de utilizadores.

Quando está plataforma é usada como zona de passagem pedonal passa a designar-se por travessia pedestre sobre-elevada, em que sofre um tratamento similar às áreas pedestres contíguas, provocando no veículo a sensação de que está a atravessar ou a galgar um passeio.



Figura 7 – Travessias pedestres sobre-elevadas.

Intersecções sobre-elevadas ocupam toda a faixa de rodagem, existindo rampas nas suas extremidades para a passagem de veículos.

São geralmente aplicadas em áreas residências ou zonas com tráfego moderado, muitas vezes em substituição de rotundas, em especial quando o espaço exíguo de passagem não permita a circulação a pesados.

Desaconselhadas em zonas de circulação de transportes públicos, veículos de emergência, e artérias de circulação estruturantes.

#### Limitação da velocidade de circulação

De fácil implementação, em especial nas zonas sensíveis onde, recorrendo-se a sinalética adequada, se obtêm reduções apreciáveis.

Deverão ser consideradas como meio de sensibilização ao ruído, quando aglutinadas com outras medidas.



Figura 8 – Zona com limitação da velocidade de circulação.

#### Limitação à circulação de veículos pesados

Na maioria dos aglomerados populacionais, a limitação do uso deste tipo de veículos está associada ao nível superior de ruído mecânico do funcionamento do veículo, comparativamente a um ligeiro, em contraponto à sua velocidade de circulação, que por norma é muito reduzida no interior das cidades.

A restrição deste tipo de veículos deverá incidir sobre o seu acesso a determinadas áreas, e em especial às zonas mistas, ações que carecem de cuidados estudos de mobilidade. Eventuais congestionamentos poderão surgir em face da sua fraca mobilidade, manobrabilidade e que podem criar conflitos rodoviários.

Este tipo de restrições não poderá ser apontado a transportes públicos, meios privilegiados de movimentos pendular dentro de uma cidade.

#### Outras medidas

Além da promoção para o uso de transportes públicos, o incentivo a formas alternativas de locomoção nunca será de menosprezar.

O uso de bicicletas ou o estímulo de andar a pé, mas encaradas como resultado de uma concreta ponderação de diversos fatores, tais como topografia ou clima.





Figura 9 – Promoção de transportes públicos e alternativos.

Reformulação de semáforos, ou a sua introdução, poderão ser também alternativas porventura aplicáveis e com eficácia na redução sonora.

### Formas urbanas

Um aspeto fundamental no planeamento territorial das cidades junto a vias geradoras de ruído é saber planear convenientemente o uso do solo, evitando conflitos futuros do ponto de vista sonoro.

É possível atuar na ordenação das formas urbanas com vista à redução do ruído no interior dos edifícios considerados recetores sensíveis. Tal atuação consiste no aumento da distância entre a fonte ruidosa e o recetor, na modificação da orientação dos edifícios ou na colocação de edifícios de uso não sensível entre a fonte ruidosa e o recetor, funcionando como barreira acústica.

#### Aumento da distância entre as fontes ruidosas e os edifícios de uso sensível

É uma forma eficaz de reduzir o ruído, em que o duplicar da distância à fonte sonora provoca uma redução expectável até 6 dB(A). Durante a fase de conceção e projeto de zonas Sensíveis edificáveis, reveste-se de especial importância a orientação das fachadas mais expostas ao ruído.

Construção de edifícios com uma forma paralela à estrada é preferível à construção perpendicular à estrada, uma vez que desta maneira o ruído não encontra obstáculos à sua propagação, invadindo todas as fachadas. Se se construir paralelamente à via, apesar de se obter uma fachada com níveis sonoros mais elevados, também se permite que a fachada oposta esteja orientada para uma área mais calma, podendo desta forma organizar-se a arquitetura da habitação tendo em atenção esta diferença de ruído, tentando-se colocar na zona mais calma as áreas mais sensíveis como os quartos de dormir e salas de estar. Além do acima exposto deve-se também tentar conjugar esse facto com uma atenção à quantidade de fachada exposta à via ruidosa, tentando limitar ao máximo essa situação de forma a libertar uma maior superfície calma às habitações.

Aplicando o mesmo princípio descrito anteriormente para espaços exteriores de edifícios de uso sensível, pode-se construir à volta de um pátio ou jardim interior, diminuindo desta forma as fachadas expostas ao ruído além das mesmas zonas exteriores serem também áreas calmas de pouca exposição ao ruído.

É importante tentar, sempre que possível, localizar os edifícios de uso comercial, industrial, garagens ou qualquer uso não sensível perto das vias rodoviárias, colocando também espaços verdes e vegetação. Assim, é criada uma zona de proteção para os edifícios sensíveis que funciona como uma barreira, além de se poder criar também mais espaços de lazer à

população. Este facto permite também aumentar a distância dos edifícios à medida que se aumenta a distância à fonte produtora de ruído.

## 1.2 Medidas de Redução no meio de propagação <sup>1</sup>

Na envolvente de uma fonte sonora, como seja uma via rodoviária ou ferroviária, são inseridas barreiras acústicas para criar uma zona mais calma na parte posterior.

Este tipo de sistemas construtivos tem por finalidade a redução do nível sonoro entre uma fonte emissora de ruído e um recetor através de fenómenos de absorção, transmissão, reflexão e difração.

De acordo com um dos princípios universais da acústica ambiental, as ações de minimização de ruído desta natureza devem ser colocadas o mais próximo possível da fonte como forma de aumentar a sua eficácia.



Figura 10 – Barreiras acústicas.

No entanto, antes de se instalar uma barreira acústica, é prioritária a confirmação de que uma atuação na fonte não será mais eficaz, nomeadamente na redução de velocidade de circulação ou alteração do pavimento por um menos ruidoso.

Os fatores determinantes na escolha de uma barreira e na sua eficácia são os seguintes:

- A distância entre a estrada e a barreira e a altura da barreira;
- A intensidade e espectro do som a atenuar;
- As condições atmosféricas: regimes de ventos e inversão térmica;
- Propriedades de absorção da barreira;
- Peso por m<sup>2</sup> da barreira;
- A forma da barreira;
- O perfil transversal da estrada (posição relativa da estrada em relação à envolvente: aterro, de nível ou escavação).

As barreiras acústicas, de acordo com as suas características de absorção, podem classificar-se como:

- Refletoras;
- Refletoras - dispersivas;
- Absorventes;
- Naturais;
- Combinações das anteriores.

---

<sup>1</sup> Manual Técnico para Elaboração de Planos Municipais de Redução de Ruído, 2008, A.P. Oliveira de Carvalho e Cecília Rocha

Em relação ao tipo de matérias de constituição podem-se classificar em:

- Betão;
- Muros de alvenaria;
- Painéis metálicos;
- Madeira;
- Painéis transparentes;
- Plásticos;
- Compósitas;
- Taludes e aterros.

### **Barreiras em Betão**

O betão é um material que, quando bem projetado, moldado, executado e curado, é considerado um dos mais duráveis (é resistente, suporta temperaturas extremas, gelo, Sol intenso e sal, não necessitando de muita manutenção).

É facilmente moldado e texturado, podendo apresentar um aspeto semelhante à de outros materiais, como madeira ou pedra natural, e sofrer tratamentos superficiais capazes de refletir o som num determinado ângulo, evitando desta maneira recetores Sensíveis.

As barreiras acústicas em betão podem ser fabricadas *in situ* (economicamente viáveis apenas para pequenas quantidades), sendo por vezes utilizadas em muros de suporte devido à flexibilidade do design, alta resistência estrutural e elevada resistência ao impacto de veículos. Quando moldados em fábrica, e por razões de transporte e de construção, os painéis de betão pré-fabricados estão normalmente sujeitos a um comprimento máximo de 4,5 metros.

Os painéis pré-fabricados são normalmente assentes sobre fundação contínua ou discreta. A colocação em obra é relativamente rápida embora possa necessitar de equipamentos robustos devido ao seu peso, necessitando de camiões para o seu transporte e guas para a montagem (pode implicar o fecho parcial ou total das vias de circulação). Além disso, visto serem basicamente várias peças de betão juntas e unidas, há a possibilidade de serem reutilizadas em barreiras temporárias ou permanentes.

Vantagens:

- Material muito resistente e com massa/m<sup>2</sup> muito significativa;
- É autoportante;
- Apresenta uma longa vida útil (pode chegar aos 40 anos), exigindo pouca manutenção;
- Pode ter características de absorção medianas (por comparação com barreiras metálicas ou plásticas absorventes);
- Pode apresentar variações de praticamente ilimitadas.

Inconvenientes:

- Como é uma solução opaca, obstrui o campo de visão aos utilizadores da via e aos recetores;
- Apresenta menores características de absorção quando comparada com as barreiras metálicas absorventes;
- As características cromáticas são pouco flexíveis.

## **Muros de alvenaria**

Os muros de alvenaria podem ser executados manualmente ou pré-montados por máquinas. A execução manual tem a vantagem de ser mais versátil na conformidade no contacto com a topografia geográfica onde se encontra a via; e de não necessitar de equipamentos pesados para a colocação de painéis. Contudo, os painéis pré-montados; apesar de mais fáceis de montar; necessitam de maior espaço de manobra para camiões e gruas, constituindo soluções que facilmente podem ser utilizadas em terrenos com alguma inclinação – até cerca de 6%.

Ambas as situações necessitam de fundações contínuas de betão, encontrando-se os blocos ancorados à fundação através de barras de aço. Varões verticais e horizontais são também necessários na própria parede para obter estabilidade estrutural. Na maior parte dos casos são necessários andaimes ou mesmo guindastes.

É preciso espaço e uma base sólida e plana, além de bastante tempo para a sua montagem e desmontagem.

## **Barreiras em Painéis Metálicos**

Há três tipos de metais comumente utilizados em barreiras acústicas: aço, alumínio e aço inoxidável.

O alumínio é normalmente revestido com tinta de esmalte ou é anodizado. Não é compatível com revestimentos galvanizados, mas apresenta elevada durabilidade, não só nas suas características acústicas como também nas suas características exteriores (pintura, furação, corrosão, etc.).

O aço é o mais barato dos metais utilizados. A maior parte dos painéis de aço e respetiva estrutura de suporte vertical e horizontal são revestidos a plastisóis, tinta de esmalte, materiais galvanizados, ou produzidos com acabamento auto protetor contra ferrugem. O aço inoxidável apresenta elevada durabilidade e resistência à corrosão, não necessitando de revestimentos para a sua proteção.

Este tipo de barreiras é geralmente absorvente, consistindo numa fachada frontal metálica perfurada e um painel traseiro metálico não perfurado, com um interior preenchido por material absorvente poroso como por exemplo lã mineral de alta densidade. Os painéis metálicos têm a vantagem de ser leves, sendo particularmente úteis no prolongamento vertical de barreiras acústicas existentes, para montar em muros de suporte com resistência limitada ou em estruturas como pontes.

Considerações a ter em atenção para barreiras em painéis metálicos:

- A existência de painéis não pintados e enferrujados em contacto com betão mancham-no;
- É necessário ter um cuidado especial na conjugação de diferentes metais de forma a não criar condições de incompatibilidade (o alumínio em contacto com o revestimento galvanizado do aço acaba por se deteriorar num curto período de tempo);
- Para salvaguardar a segurança rodoviária, são de evitar materiais brilhantes que possam ofuscar os condutores;

- Deve ser evitada a sua construção perto de linhas de eletricidade, a não ser que os seus componentes possam ser convenientemente aterrados;
- Os painéis metálicos são finos, sendo facilmente vítimas de vandalismo ou danificados por veículos e equipamentos, devendo, portanto, ter-se em atenção a sua espessura, força estrutural e distância à via.

### **Barreiras em Madeira**

As barreiras acústicas em madeira são de aplicação muito rara em Portugal. A maior parte destas barreiras são construídas com madeira, contraplacado de madeira ou ainda por produtos laminados de madeira (tratada contra fungos, insetos e outros organismos capazes de a destruir), podendo apresentar tanto a função de absorção acústica como a função dispersiva. Há diversas espécies de madeira possíveis de utilizar em barreiras acústicas, cada uma com características e desempenho acústico específico.

As espécies mais comuns são: amieiro vermelho, abeto, pinheiro e eucalipto. São um tipo de barreiras mais adequado para zonas rurais devido à sua estética rudimentar, sendo de evitar a sua colocação ao longo de viadutos e pontes. Este facto deve-se, essencialmente, a questões de segurança e estéticas e não às características acústicas dos diferentes materiais.

### **Barreiras em Materiais Transparentes**

As barreiras transparentes são constituídas por materiais como o vidro temperado, endurecido ou reforçado ou por chapas acrílicas transparentes fundidas ou extrudidas, podendo ser completamente incolores ou apresentar diversas tonalidades.

Sempre que necessário podem apresentar reforço com fibras de carbono ou de poliamida ou a aplicação de equipamento suplementar com função de redução do perigo de colisão de aves (autocolantes de aves ou riscas abrasivas no material).

A utilização deste tipo de materiais está associada ao enquadramento estético pretendido e à necessidade de reduzir o impacto visual da barreira, permitindo o prolongamento do campo visual através da barreira e evitando que zonas posteriores à barreira estejam permanente ou temporariamente em sombra ou com reduzida luminosidade.

Devem ser usadas em situações bem estudadas como maior abrangência do campo visual, probabilidade de ações de vandalismo (por exemplo, podem ter tratamento anti grafiti), sem recetores Sensíveis no lado oposto da via (exceto quando se adotam medidas complementares de minoração do efeito de reflexão das ondas sonoras), visto serem mais dispendiosas que barreiras de betão ou metálicas.

Alguns materiais perdem a sua transparência com relativa facilidade, sendo também mais rapidamente desgastados com areias, pelo que a sua seleção deve obedecer a critérios rigorosos que não onerem desmesuradamente a sua manutenção e aumentem a esperança de vida útil. A sua utilização pode originar problemas à fauna existente, nomeadamente, aos pássaros que têm alguma dificuldade em notar a sua presença (painéis transparentes e incolores), pelo que devem ser incorporados no material riscas ou outros elementos que aumentem a sua visibilidade.

## Barreiras em Materiais Plásticos

Existem diversos tipos de materiais plásticos com possibilidade de utilização em barreiras acústicas, como o polietileno, o PVC e a fibra de vidro. Uma característica deste tipo de materiais é a sua versatilidade e maleabilidade, podendo-se utilizar estes materiais de forma a serem parecidos com qualquer tipo de material existente. São leves e passíveis de reciclagem.

Considerações a ter em atenção para as barreiras em materiais plásticos:

- Alguns materiais não são muito estáveis podendo ter variações dimensionais significativas criando, desta forma, falhas entre juntas e originar deformações;
- Alguns materiais não são resistentes à radiação ultravioleta, devendo por isso ter na sua composição produtos capazes de os proteger de forma a não causar uma rápida deterioração da aparência do material e da sua resistência;
- São materiais com uma tendência para ao longo do tempo perderem a capacidade de resistência à quebra, levando a que um pequeno impacto possa ser destrutivo. O seu arranjo é a total substituição do módulo quebrado, elevando assim os custos de manutenção além de poder acontecer que o mesmo material seja de difícil execução originando painéis com estéticas diferentes;
- Dependendo da textura da superfície aplicada, são suscetíveis de brilho.

## Barreiras Compósitas

Uma barreira compósita não é mais do que uma barreira composta por dois ou mais materiais, como por exemplo um suporte de betão que posteriormente é revestido com madeira, fibra de vidro, borracha, lava ou madeira misturada com betão (betão-madeira).

Dada a variedade possível de combinações, torna-se importante conhecer a fundo o material compósito antes de o usar para perceber quais as suas características de desempenho, de durabilidade, de segurança, etc.

Considerações a ter em atenção para barreiras em materiais compósitos:

- Alguns compósitos têm tendência a arder, devendo por isso conhecer-se a toxicidade das suas emissões e cinzas e ainda incorporar na sua produção produtos retardantes de fumo e chama;
- Devido à utilização de diversos materiais com características elásticas diferentes, podem ocorrer fenómenos que levam ao aparecimento de fendas. Da mesma forma, todas as outras características físicas também poderão ter diferenças significativas que poderão originar outros problemas;
- A reciclagem deste tipo de barreiras poderá ser problemática devido aos aditivos necessários para a sua produção.

## Taludes e aterros

Taludes e aterros são elevações erigidas com materiais naturais (aterros) que funcionam como barreiras acústicas. São soluções que podem apresentar vantagens em relação às barreiras — não naturais pelo facto de serem transparentes na paisagem. O seu enquadramento natural não cria um elemento intrusivo no horizonte visual, criando uma sensação de liberdade e não de enclausura. Podem apresentar menores custos de manutenção e um potencial de durabilidade quase ilimitado.

Em caso de projetos novos, é possível utilizar os materiais de terraplenagem excedentários criando bermas elevadas a um custo relativamente baixo, que minoram os impactos negativos do transporte e deposição dos materiais de escavação em vazadouros exteriores. Contudo, o material excedentário nem sempre permite a criação de pequenas encostas, sendo necessárias maiores quantidades para a construção de elevações com porte suficiente para proporcionar alguma atenuação acústica, razão pela qual é importante ter em consideração a localização e a disponibilidade dos materiais pretendidos.

São medidas que necessitam de grandes espaços de terreno para assegurar a estabilidade estrutural, podendo ser aplicados reforços de geotêxtil que permitem o aumento da inclinação dos taludes e reduzem a área da base. É uma solução que encarece este tipo de medida de minoração, podendo ou não ser mais atrativa visualmente.

A criação de motas de terra é uma medida quase exclusivamente indicada para zonas rurais ou semirurais, onde o espaço disponível é mais abundante, criando uma maior harmonia com a paisagem circundante. Devido ao formato da própria mota de terra e caso seja necessário, é possível a colocação de um paramento vertical no topo de forma a aumentar a eficácia do conjunto.

### **Vegetação**

Por vezes pensa-se que a colocação de vegetação (árvores) pode servir como eficaz barreira acústica. Ora tal só raramente é verdade. O acréscimo de atenuação sonora devida à propagação através de densa vegetação só é significativo para espessuras superiores a 10 m e é muito mais importante para altas frequências do que para as baixas frequências.

Existe, porém, um efeito psicológico positivo na colocação de vegetação pois se o recetor não tiver na sua linha de visão a fonte sonora mais facilmente se abstrai da sua existência.

### **1.3 Medidas de redução no recetor <sup>1</sup>**

É possível considerar num plano de redução de ruído como último recurso e quando comprovadas como esgotadas as medidas de redução de ruído na fonte e no meio de propagação.

A atuação passa pelo reforço do isolamento sonoro das fachadas dos edifícios ou por soluções estratégicas, que podem passar pela compra ou expropriação de terrenos.

A sua adoção e implementação vai competir à entidade responsável pela atividade produtora de ruído ou ao recetor afetado, conforme aquele que mais recentemente se tenha instalado ou dado início à respetiva atividade ou seja titular da autorização ou licença mais recente.

Como forma de melhorar o isolamento sonoro das fachadas dos edifícios existem diversas opções de atuação, mas podem resumir-se em dois grandes grupos:

- Reforço das envolventes opacas;
- Reforço dos vãos envidraçados exteriores.

---

<sup>1</sup> Manual Técnico para Elaboração de Planos Municipais de Redução de Ruído, 2008, A.P. Oliveira de Carvalho e Cecília Rocha

As soluções estratégicas podem também ser condensadas em três grupos:

- Compra de terrenos;
- Expropriação de terrenos (deslocação de populações);
- Outras ações;

Se a compra ou expropriação de terrenos possivelmente afetados por problemas de ruído (presentes e futuros) é a forma mais eficaz de conseguir um desenvolvimento sustentável para os problemas de ruído, do ponto de vista de encargos financeiros poderá ser uma solução inoportuna.

Neste caso, medidas como restrições ao uso de solo, que frequentemente são aplicadas para situações de zonas de proteção (Reserva Nacional, Reserva Agrícola Nacional, Rede Natura, etc.) poderão ser medidas válidas na minimização do ruído urbano, se for possível aliar a existência de recursos naturais valiosos e sensíveis à utilidade para a minimização do ruído urbano.

Uma outra medida poderá passar por “terrenos de cedência”, que mais não é do que uma permuta, realizados aquando de processos de loteamento.

Estes tipos de terrenos adquiridos para controlo de ruído poderiam ser utilizados pelo município como:

- Usos municipais passivos (zonas ajardinadas, zonas de desporto indiferenciado, etc.);
- Usos municipais ativos (edifícios de uso municipal ou parques de estacionamento);
- Usos não municipais (áreas agrícolas privadas, uso por serviços governamentais com níveis sonoros compatíveis, etc.).

### **Reforço das envolventes opacas**

O aumento do isolamento sonoro de envolventes opacas obtém-se por duas formas: aumentando a massa do elemento (sendo esta uma solução, apenas válida até um limite físico de 500 kg/m<sup>2</sup>, por motivos económicos e funcionais) ou, mais facilmente, pela duplicação dos paramentos verticais (paredes duplas).



Figura 11 – Reforço da envolvente opaca.

Assim, em cada situação, é necessário conhecer o valor do nível sonoro de ruído ambiente exterior, o nível sonoro no interior dos edifícios e o valor do índice de isolamento sonoro a sons de condução aérea (R) de cada elemento construtivo

Desta forma é possível ser estudada uma solução de colocação ou substituição dos elementos construtivos por outros com melhores características de isolamento sonoro.



### Reforço dos vãos envidraçados exteriores

O aumento do isolamento sonoro de vãos envidraçados obtém-se por duplicação dos elementos de vidro. Tal pode ser ponderado colocando uma nova janela (janela dupla) ou com a substituição do vidro existente por um outro duplo (vidro duplo).

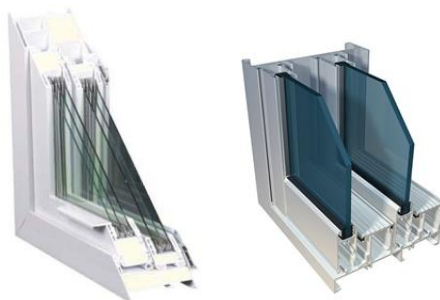


Figura 12 – janelas duplas.

Destas duas alternativas, a da janela dupla é a mais eficaz e aconselhável (isto pois também minimiza a entrada de ruído através das caixas de estore, quando existem).

A forma atual de se comparar o desempenho acústico de diferentes tipos de vidros é efetuada através do conhecimento de um único índice de redução sonora  $R_w$  (C;Ctr). É um índice medido em laboratório, de acordo com a norma NP EN 140-3, que tem em consideração os valores do isolamento nas bandas de frequência de terços de oitava de 100 Hz a 3150 Hz, conforme a norma NP EN ISO 717-1, para uma curva de referência e também adaptada a dois espectros de um dado ruído:

- Ruído rosa de referência, ruído que contém a mesma energia acústica em cada intervalo de frequência de medida (C);
- Ruído de tráfego que pretende caracterizar um ruído exterior de tráfego urbano (Ctr).

Estas correções C e Ctr tomam em consideração as características da fonte de ruído, evitando-se desta forma erros de investimento, e uma melhor eficácia na seleção dos vidros mais adequados a uma situação específica. Em alguns casos pode-se assim usar o índice  $R_w + Ctr$  em situações com ruído de tráfego e o índice  $R_w$  nas outras circunstâncias.

Todos os vidros têm uma frequência crítica onde o ruído se transmite com maior facilidade, originando uma quebra no  $w$  isolamento sonoro que pode atingir os 10 a 15 dB. É, pois, importante ter envidraçados que apresentem essa frequência crítica em valores o mais reduzidos possível, para o que se devem usar sempre vidros de espessuras diferentes.

Deverá ser dada atenção ao efeito de eventuais varandas ou outras saliências significativas nas fachadas que podem aumentar ou diminuir o isolamento sonoro do conjunto.

### Compra de terrenos

Quando um município ou entidade pública opta pela compra de um dado terreno como forma de aplicação da sua política de redução de ruído, existem determinados fatores que devem ser ponderados, como o custo monetário de aquisição e os custos e benefícios sociais associados à sua posse. Destes, o mais relevante acaba por ser o valor de aquisição existindo, contudo, outros custos adicionais como as taxas e impostos envolvidos, os custos legais, as peritagens e

eventuais custos de reparações ou demolições de estruturas existentes no terreno, de arranjo e manutenção da propriedade.

A compra de terrenos possivelmente afetados por problemas de ruído (presentes ou futuros) é a forma mais eficaz, embora dispendiosa, de conseguir um desenvolvimento sustentável para os problemas de ruído.

É um método que, a partir do momento que se encontra na esfera do domínio público, pode deixar de ser praticável, dada a natural inflação do preço dos terrenos adjacentes a infraestruturas de transporte ruidosas.

### **Expropriação de terrenos**

A expropriação de terrenos é uma outra forma de solucionar o problema do ruído com regras e limites definidos por legislação nacional pela Lei n.º 168/99, de 18 de setembro (alterado pela Lei n.º 13/2002 de 19 de fevereiro, pela retificação n.º 18/2002 de 12 de abril e pela Lei n.º 4-A/2003 de 19 de fevereiro). Nesses casos, é necessário um conhecimento pleno das intenções de uso previstas para o terreno, de forma a poder ser declarado o interesse público da expropriação.

É possível argumentar-se a favor de expropriações por incompatibilidade com os elevados níveis de ruído ambiente usando razões como a proteção da saúde pública devido aos malefícios daí resultantes e para melhoria da qualidade de vida da população vizinha às principais fontes de ruído existentes (ou previstas).

Os valores a serem pagos aos proprietários dos terrenos serão estipulados pelos tribunais (com apoio de peritos) não se conhecendo à partida quais os custos exatos deste tipo de medida. Esta metodologia é usada em muitos países por exemplo nas áreas circundantes a aeroportos.

### **Outras ações**

Uma outra forma de os municípios atuarem na gestão do solo, pode ser conseguida através de restrições ao uso do solo, como acontece frequentemente para situações de zonas de proteção (Reserva Ecológica Nacional, Reserva Agrícola Nacional, Domínio Hídrico, Rede Natura, Zonas Históricas e Patrimoniais, etc.) ou mesmo Zonas Não Edificado de proteção às infraestruturas de transporte e outras.

Nestas circunstâncias o município tem a garantia que um determinado terreno apenas irá ter o uso que foi previamente definido. Naturalmente que uma medida que limita os direitos de utilização de um dado terreno não será facilmente aceite pela população abrangida, principalmente numa situação de excesso de ruído em que, potencialmente, deverão ser tomadas todas as medidas possíveis para o minorar.

Ainda assim, em situações em que seja manifestamente impossível reduzir o ruído ambiente para níveis aceitáveis, esta deverá ser a medida a equacionar, se bem que deva ser convenientemente estudada e justificada.

Através destas restrições pode-se limitar a construção de edifícios nas zonas adjacentes às grandes infraestruturas de transporte (ou apenas a autorizar se forem cumpridos determinados requisitos acústicos), evitando-se possíveis problemas futuros.

A restrição ao corte de densa vegetação ou elevações que atuem como barreiras acústicas é uma medida eficaz.

Outra forma de obtenção de terrenos praticamente a custo zero, corresponde à utilização de terrenos de cedência, conseguidos aquando de processos de loteamento.

São situações onde se torna possível intervir, não só durante a aprovação do projeto do loteamento, como na posterior fase. Podem transformar-se em zonas tampão entre infraestruturas de transporte e zonas Mistas ou Sensíveis, pela construção de áreas com espaços ajardinados e recreativos que combatem o ruído ao mesmo tempo que proporcionam espaços públicos de lazer à população.