

CYPECAD MEP **CYPEVAC 3D**

Memória de cálculo

Manual do utilizador



Software para
Arquitetura,
Engenharia
e Construção

IMPORTANTE: ESTE TEXTO REQUER A SUA ATENÇÃO E A SUA LEITURA

A informação contida neste documento é propriedade da CYPE Ingenieros, S.A. e nenhuma parte dela pode ser reproduzida ou transferida sob nenhum conceito, de nenhuma forma e por nenhum meio, quer seja electrónico ou mecânico, sem a prévia autorização escrita da CYPE Ingenieros, S.A.

Este documento e a informação nele contida são parte integrante da documentação que acompanha a Licença de Utilização dos programas informáticos da CYPE Ingenieros, S.A. e da qual são inseparáveis. Por conseguinte, está protegida pelas mesmas condições e deveres. Não esqueça que deverá ler, compreender e aceitar o Contrato de Licença de Utilização do software, do qual esta documentação é parte, antes de utilizar qualquer componente do produto. Se NÃO aceitar os termos do Contrato de Licença de Utilização, devolva imediatamente o software e todos os elementos que o acompanham ao local onde o adquiriu, para obter um reembolso total.

Este manual corresponde à versão do software denominada pela CYPE Ingenieros, S.A. como CYPEVAC 3D – Memória de Cálculo. A informação contida neste documento descreve substancialmente as características e métodos de manuseamento do programa ou programas informáticos que acompanha. O software que este documento acompanha pode ser submetido a modificações sem prévio aviso.

Para seu interesse, a CYPE Ingenieros, S.A. dispõe de outros serviços, entre os quais se encontra o de Actualizações, que lhe permitirá adquirir as últimas versões do software e a documentação que o acompanha. Se tiver dúvidas relativamente a este texto ou ao Contrato de Licença de Utilização do software, pode dirigir-se ao seu Distribuidor Autorizado Top-Informática, Lda., na direcção:

Rua Comendador Santos da Cunha, 304
4700-026 Braga
Tel: 00 351 253 20 94 30
<http://www.topinformatica.pt>

Elaborado pela Top-Informática, Lda. para a
© CYPE Ingenieros, S.A.
Julho 2014

Windows® é marca registada de Microsoft Corporation®

Índice

1. Memória de cálculo.....	6
1.1. Introdução.....	6
1.2. Metodologias de cálculo.....	6
1.2.1. Isolamento sonoro a sons aéreos.....	6
1.2.1.1. Índice de redução sonora a sons de condução aérea em paredes simples.....	7
1.2.1.2. Índice de redução sonora a sons de condução aérea em paredes duplas.....	8
1.2.1.3. Índice de redução sonora a sons de condução aérea em paredes com envidraçados e ou com portas.....	9
1.2.1.4. Índice de redução sonora a sons de condução aérea em lajes.....	10
1.2.2. Isolamento sonoro a sons de percussão.....	14
1.2.3. Cálculo.....	16
1.2.3.1. Transmissão marginal relativa aos sons aéreos.....	16
1.2.3.2. Transmissão marginal relativa aos sons de percussão.....	18
1.2.3.3. Índices de isolamento sonoro a sons aéreos e de percussão, padronizado.....	19
1.2.3.4. Tempo de reverberação.....	19
1.2.3.5. Equipamentos.....	20
1.2.4. Avaliação do grau de incomodidade.....	20
2. Bibliografia.....	22

Nota prévia

Devido à implementação de novas funcionalidades e melhorias no CYPEGAS, é possível que pontualmente surjam imagens ou textos que não correspondam à versão atual. Em caso de dúvida consulte a Assistência Técnica em <https://www.topinformatica.pt/>.

Apresentação

Programa desenvolvido para o projecto de verificação da acústica nos edifícios, em função dos usos a que se destinam, de acordo com o Dec.-Lei nº 96/2008 de 9 de Junho, com excepção do artigo 10.º-A Auditórios e salas.

Realiza a verificação do índice de isolamento sonoro a sons de condução aérea e de percussão, do nível de avaliação sonora proveniente do ruído particular de equipamentos colectivos, da área de absorção equivalente e do tempo de reverberação. Permite assim o controlo da poluição sonora, de modo que as construções possuam condições de conforto acústico que salvaguardem a saúde e bem-estar dos ocupantes dos edifícios.

Com o módulo Avaliação do grau de incomodidade, o programa permite efectuar o estudo sobre a avaliação do cumprimento do grau de incomodidade sobre terceiros, relativamente ao ruído de equipamentos relacionados com a actividade em licenciamento, segundo o artigo 13.º do Regulamento Geral do Ruído (Decreto-Lei n.º 9/2007).

Este manual proporciona obter informação sobre as metodologias utilizadas pelo programa, para o cálculo dos índices de isolamento sonora a sons aéreos e de percussão, tempo de reverberação e o nível de avaliação sonora relativa a equipamentos.

Agradecimento

A CYPE Ingenieros, S.A. e a Top-Informática, Lda., agradecem:

Ao Prof. Rui Calejo do Projecto NI&DEA-FEUP - Núcleos de Investigação e Desenvolvimento em Engenharia Acústica pelo parecer emitido sobre o Cypevac (v. 2008), o qual permitiu a identificação de oportunidades de melhorias a implementar nas versões futuras.

Ao Laboratório de Física das Construções da Universidade do Minho, nas pessoas do Prof. Luís Bragança e da Eng. Sandra Monteiro da Silva, a valiosa colaboração dispensada na concepção da primeira versão deste programa (v.2002) bem como da sua adaptação ao Decreto-lei 129/2002 de 11 de Maio, nomeadamente artigo 5º.

1. Memória de cálculo

1.1. Introdução

O presente programa de cálculo automático tem por objectivo o cálculo e verificação dos compartimentos, em termos dos seus índices de isolamento sonoro, tempo de reverberação e nível de avaliação sonora dos equipamentos, permitindo assim o controle da poluição sonora, de modo que as construções possuam condições de conforto acústico que salvaguardem a saúde e bem-estar dos ocupantes dos edifícios.

Este controle realiza-se por meio da aplicação do Regulamento dos Requisitos Acústicos dos Edifícios (Decreto-Lei n.º 96/2008 de 9 de Junho com a excepção do artigo 10.º-A).

Com o módulo Avaliação do grau de incomodidade, o programa permite efectuar o estudo sobre a avaliação do cumprimento do grau de incomodidade sobre terceiros, relativamente ao ruído de equipamentos relacionados com a actividade em licenciamento, segundo o artigo 13.º do Regulamento Geral do Ruído (Decreto-Lei n.º 9/2007).

1.2. Metodologias de cálculo

1.2.1. Isolamento sonoro a sons aéreos

Chama-se ruído aéreo aos sons transmitidos via aérea. Para o caso de edifícios, a fonte sonora originária desta excitação, pode ser o ruído do tráfego rodoviário, ferroviário, aéreo, o funcionamento de equipamentos colectivos e/ou individuais, a própria conversação, actividades quotidianas, etc. A origem destas fontes sonoras pode estar tanto no interior como no exterior do edifício. Assim, o regulamento estabelece limites de isolamento sonoro, segundo a localização de cada elemento de divisão, diferenciando a envolvente exterior do edifício dos diferentes elementos de divisão interna.

Existem vários métodos para a caracterização do isolamento a sons aéreos. Dividem-se em métodos de medição "in situ" e métodos estimativos. Para calcular o isolamento sonoro a sons de condução aérea, de um determinado elemento de divisão, o programa utiliza a chamada Lei da Massa.

A lei da Massa é um método estimativo que estabelece que a redução de intensidade acústica através de um determinado elemento, é função do quadrado do produto da massa unitária 'm' pela frequência considerada 'f'. O resultado desta equação expressa-se decibel (dB).

$$a \approx 10 \times \log(f \cdot m)^2$$

Desta equação pode deduzir-se matematicamente que, para uma frequência fixa, o isolamento aumenta tão só 6 dB quando se duplica a massa. Analogamente, para uma dada massa fixa, o isolamento cresce 6 dB ao duplicar a frequência. Esta análise permite que na prática se utilizem divisões constituídas por vários elementos para aumentar o isolamento sonoro sem ter que recorrer a um aumento excessivo da massa. A representação gráfica para as divisões homogéneas, isto é, paredes simples, é uma recta logarítmica que mostra a evolução do isolamento sonoro em função da massa superficial.

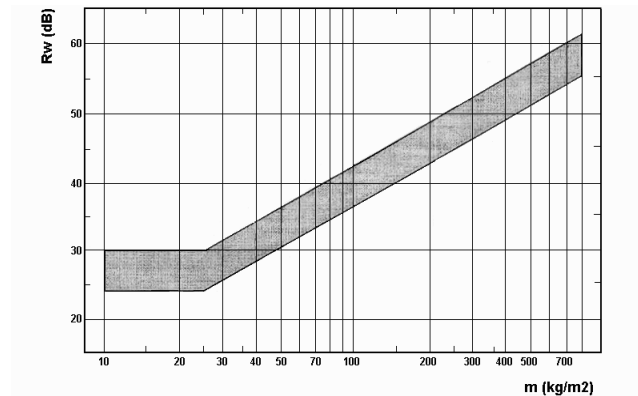


Fig. 1.1

1.2.1.1. Índice de redução sonora a sons de condução aérea em paredes simples

Geralmente, para aplicar o procedimento de cálculo da Lei da Massa, obtém-se o somatório de todas as massas superficiais dos elementos que compõem o elemento de divisão.

Com este valor entra-se no gráfico da Lei da Massa e obtém-se uma gama de valores, em dB. O programa toma como solução válida um valor médio.

$$R_w = 27 \pm 3.15 \quad \text{se } m < 25 \text{ kg/m}^2$$

$$R_w = 20.4 \times \log(m) - 1.5 \quad \text{se } m \geq 25 \text{ kg/m}^2$$

em que:

R_w : índice de redução sonora (dB)

m : massa superficial (kg/m^2)

É possível no programa aplicar um revestimento interior em ambas as faces (parede interior) ou na face interior (parede exterior) de forma a existir um ganho ao nível do índice de redução sonora.

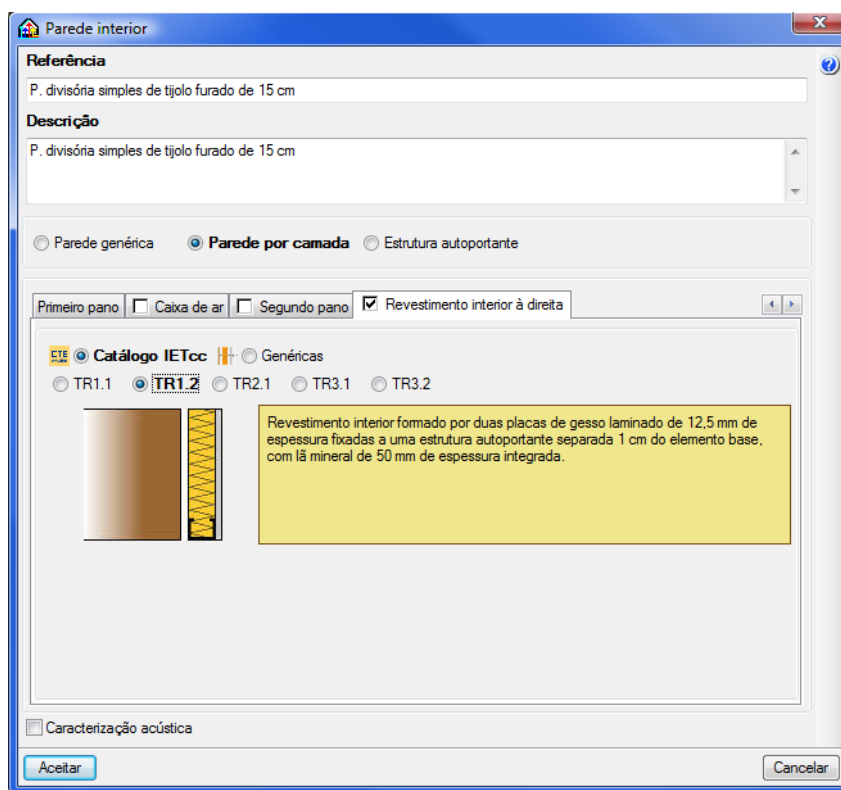


Fig. 1.2

Por outro lado, caso possua o valor do índice de redução sonora referente ao ensaio em laboratório dessa parede, o programa permite a definição desse mesmo valor.

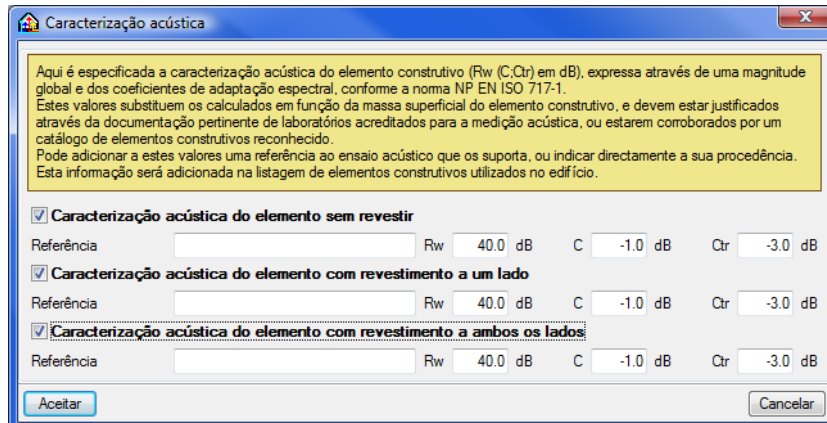


Fig. 1.3

1.2.1.2. Índice de redução sonora a sons de condução aérea em paredes duplas

Em paredes heterogéneas, no caso das paredes duplas, é necessário aplicar correcções ao valor de isolamento obtido com a Lei da Massa.

Para que uma parede dupla seja tratada como tal importa cumprir algumas condições:

- A frequência de ressonância dos painéis de uma parede dupla deve ser inferior a 63 Hz.

Uma parede dupla (parede composta por painéis separados por uma caixa-de-ar) representa, a baixas frequências, um sistema massa-mola-massa, onde as massas correspondem aos dois panos de parede e a mola à caixa-de-ar que os separa.

Um sistema assim é capaz de vibrar e possui uma frequência própria de ressonância definida pela fórmula:

$$f_R = \frac{c}{2 \cdot \pi} \cdot \sqrt{\frac{(m_1 + m_2) \cdot \rho}{m_1 \cdot m_2 \cdot d}}$$

Sendo:

c: velocidade de propagação do som no ar (340 m/s)

m_i : massa superficial do pano i

ρ : massa volúmica do ar (1.18 kg/m³)

d: espessura da lâmina de ar (m)

Esta frequência será tanto mais baixa quanto maiores forem as massas e/ou maior a distância entre elas. Para esta frequência o isolamento sonoro é baixo, praticamente nulo. Portanto, o objectivo será conseguir que esta frequência seja a mais baixa possível, já que a sensibilidade do ouvido diminui ao diminuir a frequência.

- A espessura da caixa-de-ar da parede não deve ser inferior ao valor obtido pela seguinte expressão:

$$d > 0.9 \cdot \left(\frac{1}{m_1} + \frac{1}{m_2} \right)$$

- A caixa-de-ar deve ser semi-preenchida com elemento absorvente com um mínimo de 4 cm de espessura.

Cumprindo-se estas três condições, o índice obtido do gráfico será aumentado entre 3 a 5 dB, consoante os casos. Caso contrário, a parede segue o conceito da Lei experimental da massa e frequência, não existindo qualquer ganho devido à presença da caixa-de-ar com isolamento.

Ou seja,

$$R_w = 40 + 6 \times \frac{\log\left(\frac{m}{100}\right)}{\log(2)}$$

em que:

R_w : índice de redução sonora (dB)

m: massa superficial (kg/m²)

É possível no programa aplicar um revestimento interior em ambas as faces (parede interior) ou na face interior (parede exterior) de forma a existir um ganho ao nível do índice de redução sonora.

Por outro lado, caso possua o valor do índice de redução sonora referente ao ensaio em laboratório dessa parede, o programa permite a definição desse mesmo valor.

1.2.1.3. Índice de redução sonora a sons de condução aérea em paredes com envidraçados e ou com portas

O isolamento sonoro proporcionado pelos envidraçados ou portas pode ser introduzido manualmente no programa ou mediante a utilização da base de dados Gerador de preços, no qual possui valores do próprio fabricante.

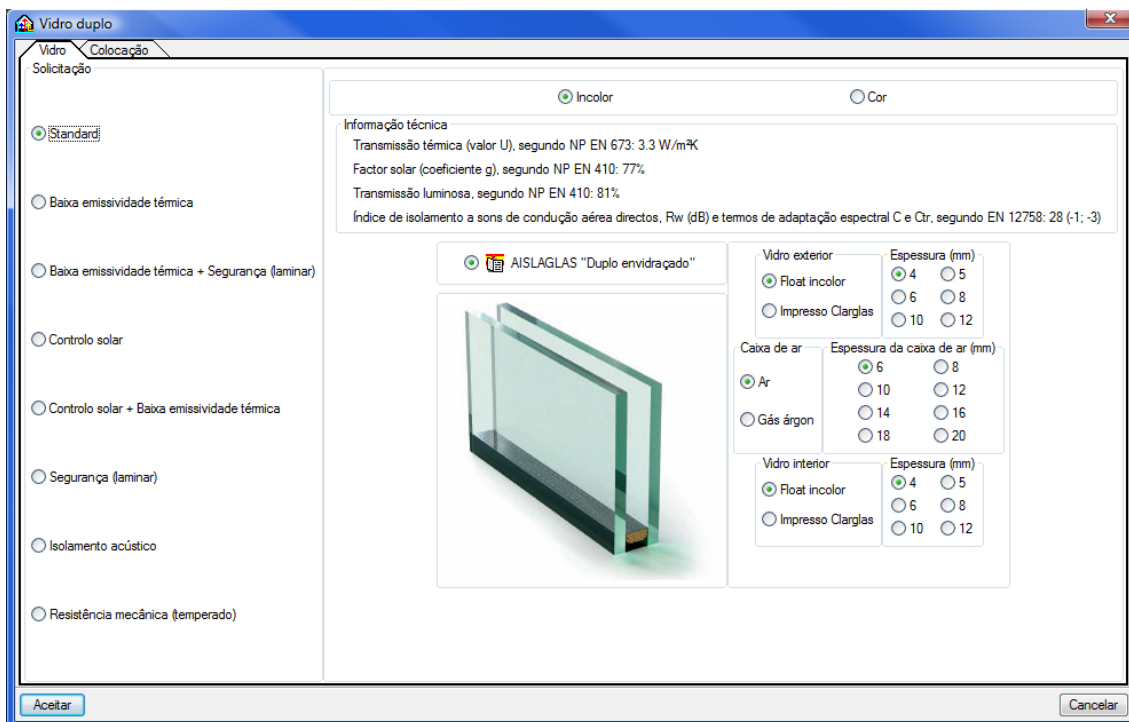


Fig. 1.4

O valor global do índice de redução sonora a sons de condução aérea, será obtido a partir do respectivo valor da parte opaca, da parte envidraçada e da porta, através da fórmula seguinte:

$$R_T = 10 \times \log \frac{\sum S_i}{\sum \frac{S_i}{10^{R_i/10}}}$$

Sendo:

S_i: área da superfície i

R_i: isolamento sonoro de i

R_T: isolamento total resultante

1.2.1.4. Índice de redução sonora a sons de condução aérea em lajes

O programa utiliza o método gráfico para o cálculo do índice de redução sonora nas lajes, este método é o mesmo que se utiliza nas paredes simples.

$$R_w = 27 \pm 3.15 \quad \text{se } m < 25 \text{ kg/m}^2$$

$$R_w = 20.4 \times \log(m) - 1.5 \quad \text{se } m \geq 25 \text{ kg/m}^2$$

em que:

R_w: índice de redução sonora (dB)

m: massa superficial (kg/m²)

Por outro lado, caso se possua os valores do índice de redução sonora (R_w) e o nível global de pressão sonora a sons de percussão (L_n) referente ao ensaio em laboratório, o programa permite a introdução desses mesmos valores.

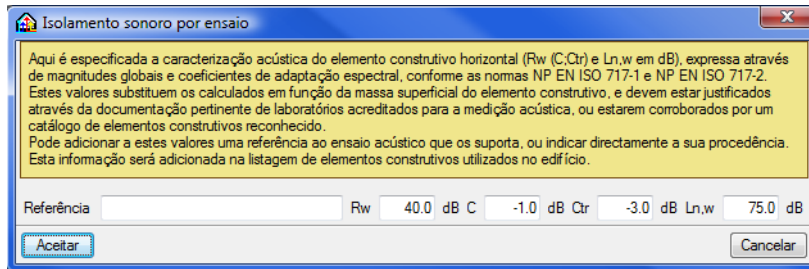


Fig. 1.5

Posteriormente na definição do pavimento e base de pavimentação sobre a laje e na definição do tecto falso, é possível em ambas as situações introduzir manualmente ganhos ao nível do índice de redução sonora (R_w) e ao nível global de pressão sonora a sons de percussão (L_n), ou utilizando os ganhos provenientes da importação das soluções construtivas existentes no Gerador de preços.



Fig. 1.6

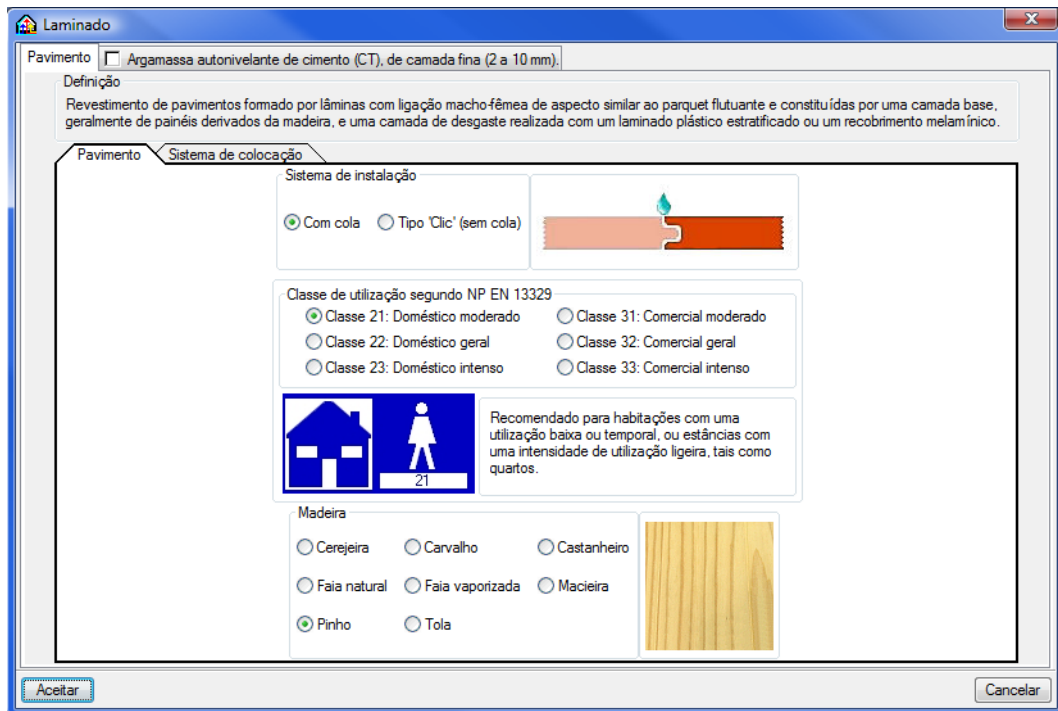


Fig. 1.7



Fig. 1.8

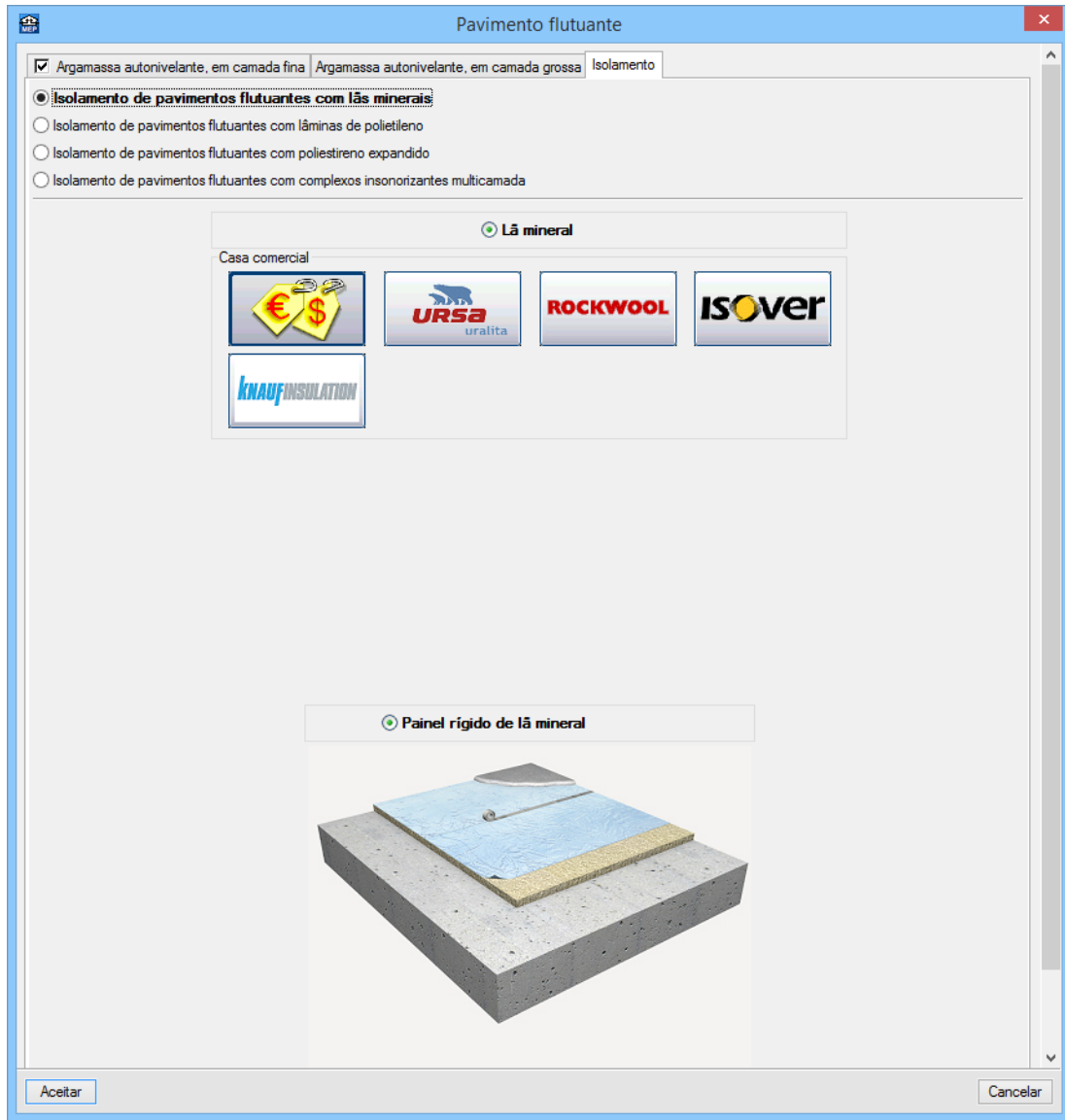


Fig. 1.9

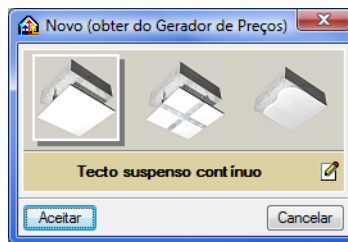


Fig. 1.10

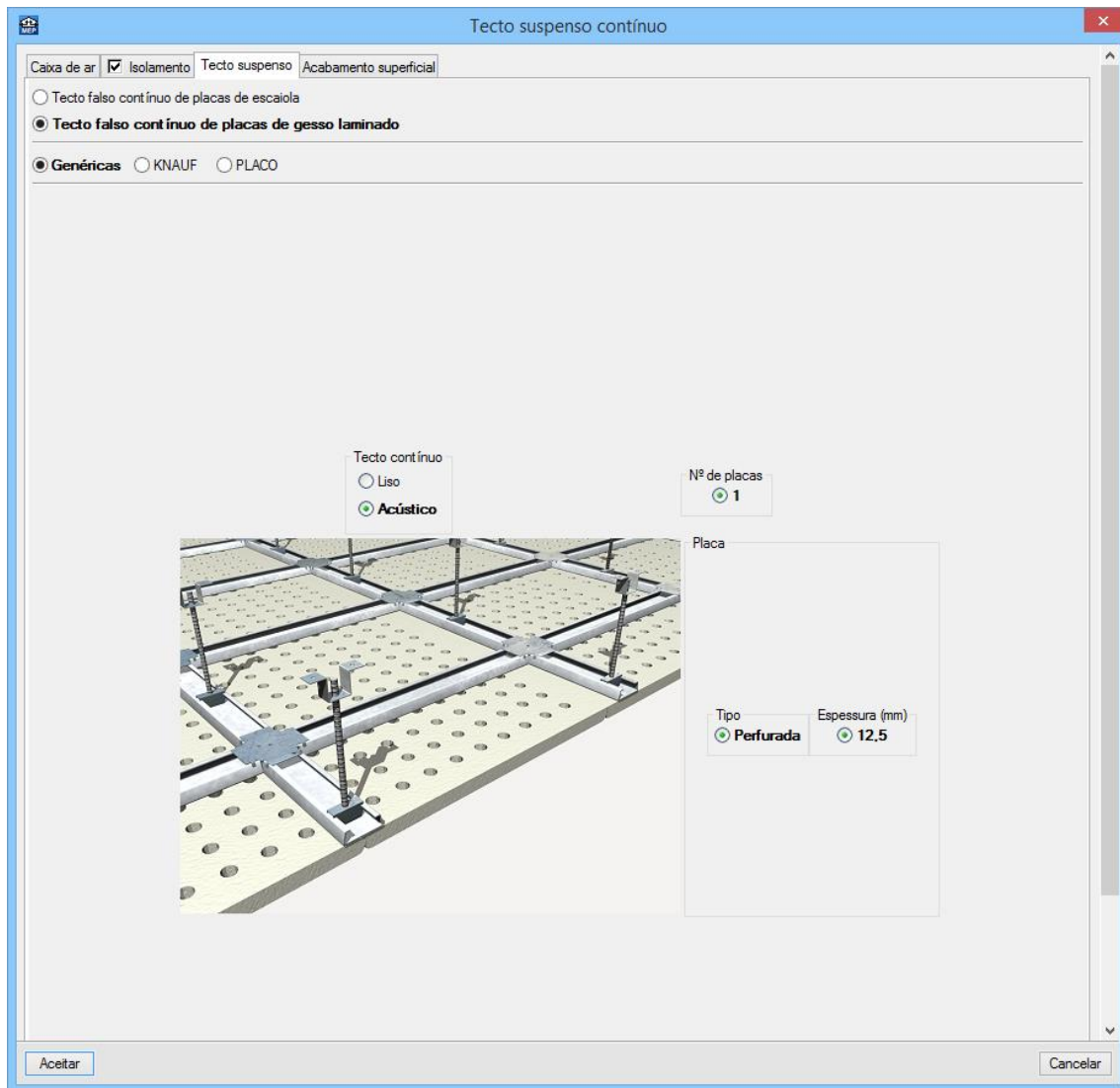


Fig. 1.11

1.2.2. Isolamento sonoro a sons de percussão

Para os compartimentos é necessário, para além de verificar o isolamento a sons aéreos, verificar o isolamento a sons de percussão, este tipo de ruído é produzido mediante a actividade de impacto sobre os pavimentos situados em compartimentos adjacentes, sendo que é considerado como o mais desagradável no comportamento acústico de um edifício. Isto deve-se à fácil propagação por toda a estrutura, através das uniões rígidas existentes, provocando campos sonoros que podem chegar a pontos distantes da origem da excitação sonora.



Fig. 1.12

Como no caso anterior, também existem vários métodos para a caracterização do isolamento a sons de percussão: métodos de medição “in situ” e métodos estimativos. O programa utiliza o método do invariante e o método simplificado da norma EN12354 para avaliar as condições de isolamento a sons de percussão. Estes métodos estimativos baseiam-se em formulações teóricas que representam, de uma forma mais ou menos aproximada, a realidade. Em geral, os métodos estimativos usam-se na fase de desenho e concepção dos pavimentos, isto é, na formulação do projecto do edifício.

O fundamento teórico do método do invariante é o princípio da reciprocidade, que considera o seguinte: se uma determinada força F_1 , que actua no ponto 1, estabelece uma velocidade de vibração no ponto 2 de valor V_{12} , outra força F_2 de igual valor a F_1 e aplicada no ponto 2, originará no ponto 1 uma velocidade $V_{21} = V_{12}$.

Aplicando a um local reverberante temos que: quando uma divisão homogénea está excitada por um campo reverberante difuso originado por uma fonte de sons aéreos, a velocidade de vibração pode ser directamente determinada a partir da energia sonora irradiada pelo referido elemento, quando este se gera com uma fonte de excitação pontual; o inverso também é verdadeiro.

Para aplicar este método consideram-se os pavimentos classificados em “lajes-tipo”, aos quais corresponde um valor constante de $R_w + L'_n$ que será, para um determinado pavimento, a soma do seu índice de redução sonora (R_w) em dB e o nível sonoro médio relativo a sons de percussão (L'_n) em dB/oit. Este valor vem definido por tabelas, obtidas a partir de análises de um número elevado de dados experimentais.

Tipo de laje	$R_w + L'_n$
Laje maciça	135
Laje aligeirada de vigotas	140
Laje aligeirada de vigotas c/molde em EPS	139
Laje fungiforme aligeirada	140
Laje fungiforme aligeirada c/ molde em EPS	139
Laje alveolada	140

O método simplificado da Norma **EN12354** é utilizado pelo programa quando o utilizador cria a laje como **Pavimento tipo (cálculo simplificado)**.

$$L_{n,w,eq} = 164 - 35 \times \log(m') \quad \text{dB}$$

em que:

m' (entre 100 e 600 kg/m²): massa superficial do elemento (kg/m²)

De acordo com a Norma EN12354, esta equação é válida para lajes maciças de betão armado; para betão leve ou aligeirado os valores reais serão algo inferiores, de forma que esta equação dá valores seguros nestes casos.

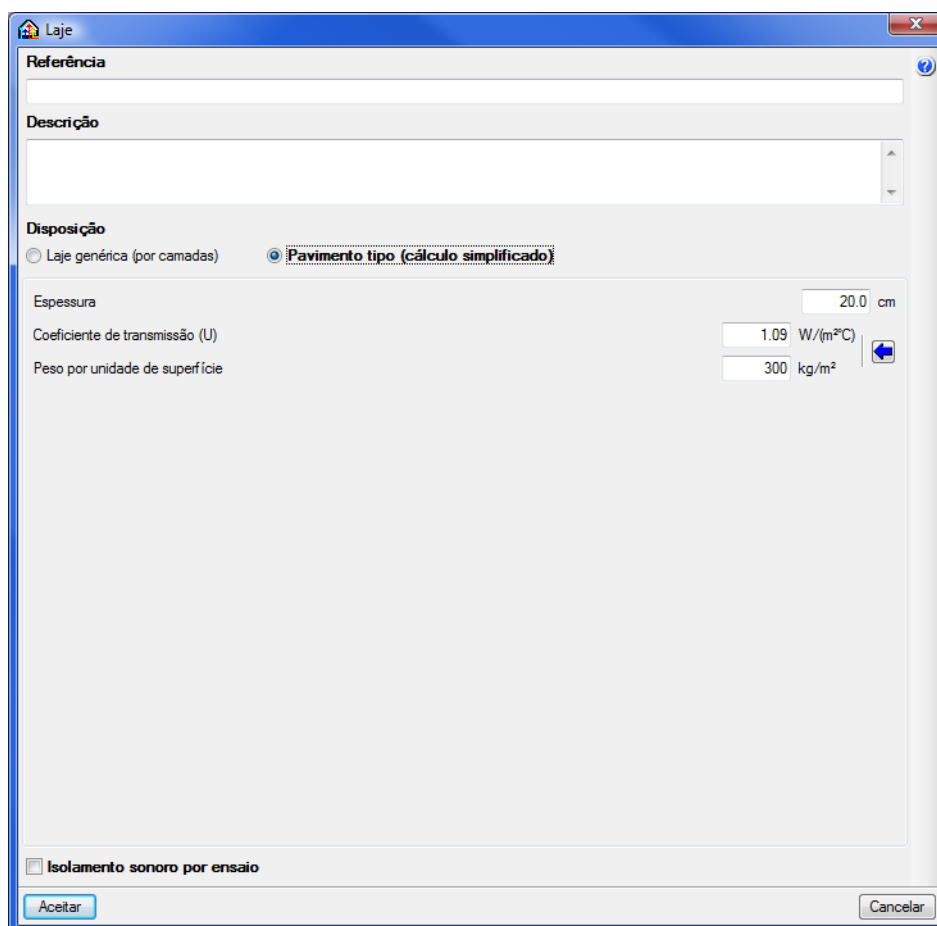


Fig. 1.13

Por outro lado, caso se possua os valores do índice de redução sonora (R_w) e o nível global de pressão sonora a sons de percussão (L_n) referente ao ensaio em laboratório, o programa permite a introdução desses mesmos valores.

Posteriormente na definição do pavimento e base de pavimentação sobre a laje e na definição do tecto falso, é possível em ambas as situações introduzir manualmente ganhos ao nível do índice de redução sonora (R_w) e ao nível global de pressão sonora a sons de percussão (L_n), ou utilizando os ganhos provenientes da importação das soluções construtivas existentes no Gerador de preços. Estes valores devem ser corroborados através de ensaio normalizado, ou justificado através de cálculo.

1.2.3. Cálculo

1.2.3.1. Transmissão marginal relativa aos sons aéreos

A transmissão de energia sonora entre dois espaços pode-se considerar como a soma da transmissão do som estrutural através de vários caminhos. Cada caminho pode identificar-se por um elemento i sobre o qual o som incide no compartimento emissor e um elemento radiante j no compartimento receptor. Os caminhos de propagação da energia sonora através de uma via directa e marginal mostram-se na seguinte figura:

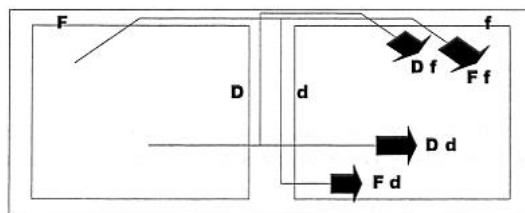


Fig. 1.14

A aplicação do modelo simplificado para o cálculo das transmissões marginais restringe-se para elementos de compartimentação fundamentalmente homogéneos. Para efeitos de amortecimento estrutural dos elementos, considera-se o seu valor médio, desprezando as particularidades de cada situação. Considerou-se como aproximação o valor de 500 Hz para todo o cálculo.

O índice de redução sonora vem dado pela seguinte fórmula:

$$R'_w = -10 \times \log \left[10^{-R_{Dd,w}/10} + \sum_{F=f=1}^n 10^{-R_{Ff,w}/10} + \sum_{f=1}^n 10^{-R_{Df,w}/10} + \sum_{F=1}^n 10^{-R_{Fd,w}/10} \right]$$

em que:

$R_{Dd,w}$ é o índice de redução sonora para a transmissão directa, em dB

$R_{Ff,w}$ é o índice de redução sonora por via marginal para o caminho de transmissão Ff, em dB

$R_{Df,w}$ é o índice de redução sonora por via marginal para o caminho de transmissão Df, em dB

$R_{Fd,w}$ é o índice de redução sonora por via marginal para o caminho de transmissão Fd, em dB

n é o número de elementos marginais no compartimento

Os índices de redução sonora por via marginal determinam-se a partir das seguintes fórmulas:

$$R_{Ff,w} = \frac{R_{F,w} + R_{f,w}}{2} + K_{Ff} + 10 \times \log \frac{S_s}{l_f}$$

$$R_{Fd,w} = \frac{R_{F,w} + R_{s,w}}{2} + K_{Fd} + 10 \times \log \frac{S_s}{l_f}$$

$$R_{Df,w} = \frac{R_{s,w} + R_{f,w}}{2} + K_{Df} + 10 \times \log \frac{S_s}{l_f}$$

onde:

$R_{F,w}$ é o índice de redução sonora do elemento marginal F, no compartimento emissor, em dB

$R_{f,w}$ é o índice de redução sonora do elemento marginal f, no compartimento receptor, em dB

$R_{s,w}$ é o índice de redução sonora do elemento principal, em dB

K_{Ff} é o índice de redução de transmissão de vibrações pelo encaminhamento Ff, em dB

K_{Fd} é o índice de redução de transmissão de vibrações pelo encaminhamento Fd, em dB

K_{Df} é o índice de redução de transmissão de vibrações pelo encaminhamento Df, em dB

S_s é a superfície do elemento de separação, em metros quadrados

l_f é o comprimento da linha de junção entre o elemento de separação e os elementos marginais F e f, em metros

Este cálculo não tem em conta as melhorias do índice de redução sonora dos elementos, com a excepção dos pavimentos, cuja aplicação de revestimentos, pavimentos flutuantes e tectos falsos tem uma função importante no isolamento sonoro.

Segundo a norma EN 12354-1 2000 os índices de redução de transmissão de vibrações podem-se calcular tomando como entrada o seguinte parâmetro:

$$M = \log \frac{m'_{ji}}{m'_i}$$

em que:

m'_{ji} é a massa superficial do elemento i no caminho de transmissão ij, em kg/m²

m'_i é a massa superficial do outro elemento, perpendicular ao i , que forma a união, em kg/m^2

Seguidamente, descrevem-se os distintos tipos de uniões estabelecidas na norma europeia:

- União rígida em cruz

$$K_{13} = 8.7 + 17.1 \times M + 5.7 \times M^2$$

$$K_{12} = 8.7 + 5.7 \times M^2 \quad (= K_{23})$$

- União rígida em T

$$K_{13} = 5.7 + 14.1 \times M + 5.7 \times M^2$$

$$K_{12} = 5.7 + 5.7 \times M^2 \quad (= K_{23})$$

- União de paredes com interposição de elementos resilientes

$$K_{13} = 5.7 + 14.1 \times M + 5.7 \times M^2 + 2.0 \times \Delta_1$$

$$K_{24} = 3.7 + 14.1 \times M + 5.7 \times M^2 \quad (-4 \leq K_{24} \leq 0)$$

$$K_{12} = 5.7 + 5.7 \times M^2 + \Delta_1 \quad (= K_{23})$$

$$\Delta_1 = 10.0 \times \log \frac{500}{125}$$

- Junção em canto

$$K_{12} = 15.0 \times |M| - 3.0 \quad \text{dB}; \quad -2 \text{ dB mínimo}$$

- Variação de geometria

$$K_{12} = 5.0 \times M^2 - 5.0 \quad (= K_{21}) \quad \text{dB}$$

- Junção em fachada leve

$$K_{13} = 5.0 + 10.0 \times M \quad \text{dB}; \quad 5 \text{ dB mínimo}$$

$$K_{12} = 10.0 + 10.0 \times |M| \quad \text{dB}; \quad (= K_{23})$$

- Junção de parede dupla leve com elementos homogéneos

$$K_{13} = 10.0 + 20.0 \times M - 3.3 \times \log \frac{500}{500} \quad \text{dB}; \quad 10 \text{ dB mínimo}$$

$$K_{24} = 3.0 - 14.1 \times M + 5.7 \times M^2 \quad \text{dB}; \quad m_2 / m_1 > 3.0; \quad \text{dB}$$

$$K_{12} = 10.0 + 10.0 \times |M| + 3.3 \times \log \frac{500}{500} \quad \text{dB} \quad (= K_{23})$$

- Junções de paredes duplas leves

$$K_{13} = 10.0 + 20.0 \times M - 3.3 \times \log \frac{500}{500} \quad \text{dB}; \quad 10 \text{ dB mínimo}$$

1.2.3.2. Transmissão marginal relativa aos sons de percussão

Relativamente aos sons de percussão, a estimativa do isolamento sonoro, tem por base o caminho de transmissão directo e os caminhos laterais referentes às junções que delimitam o compartimento. Este cálculo é realizado conforme a Norma EN12354-2, sendo as expressões:

Para compartimentos situados um sobre o outro:

$$L'_{n,w} = 10 \times \log \left[10^{0.1L_{n,w,d}} + \sum_{j=1}^n 10^{0.1L_{n,w,j}} \right]$$

onde:

$L_{n,w}$ é o nível de pressão sonora normalizado devido à transmissão pelo elemento de separação, em dB

$L_{n,j}$ é o nível de pressão sonora normalizado devido à transmissão pelos elementos marginais, em dB

n é o número de elementos considerados (geralmente igual a 4)
Para compartimentos situados lado a lado:

$$L'_{n,w} = 10 \times \log \left[\sum_{j=1}^n 10^{0,1L_{n,w,j}} \right]$$

onde:

$L_{n,j}$ é o nível de pressão sonora normalizado devido à transmissão pelos elementos marginais, em dB

n é o número de elementos considerados (geralmente igual a 2)

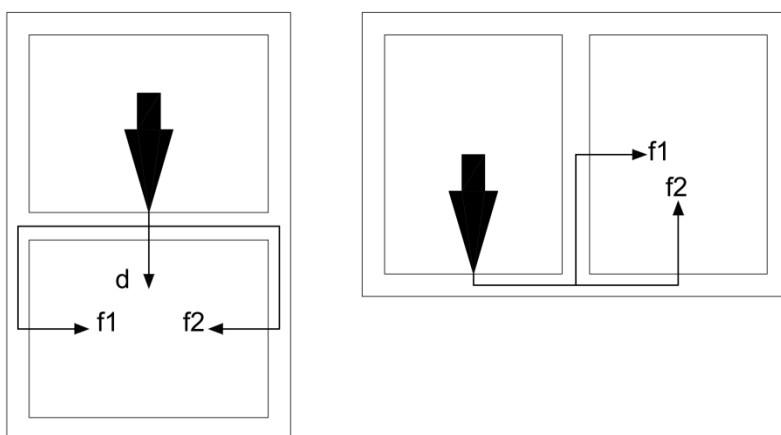


Fig. 1.15

Para compartimentos situados um junto ao outro, a expressão é a seguinte:

$$L'_{n,w} = 10,0x \log \left[\sum_{j=1}^n 10^{0,1L_{n,w,j}} \right]$$

onde:

$L_{n,j}$ é o nível de pressão sonora normalizado devido à transmissão pelos elementos marginais, em dB

n é o número de elementos considerados

1.2.3.3. Índices de isolamento sonoro a sons aéreos e de percussão, padronizado

Uma vez definidas as transmissões marginais, calculam-se os respectivos índices com as seguintes fórmulas, segundo a norma EN12354:

$$D_{nT,w} = R'_w + 10 \times \log \left(\frac{0,16 \times V}{T_o \times S_s} \right)$$

$$L'_{nT,w} = L'_{n,w} - 10 \times \log \left(\frac{0,16 \times V}{A_o \times T_o} \right)$$

onde:

R'_w representa o índice de redução sonora, inclui as transmissões marginais, em dB

$L'_{n,w}$ representa o índice de isolamento sonoro a sons de percussão, inclui as transmissões marginais, em dB

T_o representa o tempo de reverberação de referência, em segundos

V representa o volume do compartimento receptor, em m³

S_s representa a área do elemento separador, em m²

A_o representa a área de absorção equivalente de referência, de valor 10 m²

1.2.3.4. Tempo de reverberação

O tempo de reverberação calcula-se mediante a fórmula de Sabine:

$$T = 0,161 \times \frac{V}{A}$$

em que:

T é o tempo de reverberação do compartimento em segundos

V é o volume do compartimento em m³

A é a área de absorção sonora equivalente

Este último termo inclui a área de absorção sonora de cada uma das envolventes do compartimento, assim como os diferentes objectos e pessoas que estão no compartimento.

$$A = \sum_{n=1}^I \alpha_{s,n} S_n + \sum_{k=1}^P \alpha_{s,k} S_k + A_{ar}$$

onde:

$\alpha_{s,n}$ é o coeficiente de absorção sonora equivalente de cada uma das paredes, tectos e pavimentos que formam o compartimento

S_n é a área de cada uma das paredes, tectos e pavimentos que formam o compartimento em m²

$\alpha_{s,k}$ é o coeficiente de absorção sonora equivalente de objectos e pessoas que estão no compartimento

S_k é a área sonora equivalente de objectos e pessoas que estão no compartimento em m²

A_{ar} é a área sonora equivalente do volume de ar contido no compartimento em m²

1.2.3.5. Equipamentos

O ruído produzido pelos equipamentos situados em compartimentos contíguos calcula-se da seguinte forma:

$$L_p = L_w + 10 \times \log \left(\frac{D}{4 \times \pi \times r^2} + \frac{4}{R} \right) - D_{nt,w}$$

$$L_{Ar,nt} = L_w + 10 \times \log \left(\frac{D}{4 \times \pi \times r^2} + \frac{4}{R} \right) - D_{nt,w} + K - 10 \times \log (0.032 \times V)$$

onde:

L_p representa o nível de pressão sonora, em dB(A)

L_w representa o nível de potência sonora do equipamento, em dB(A)

D representa o factor de direccionalidade para caracterizar o ângulo sólido da transmissão. Pode tomar valores segundo a posição do equipamento no compartimento (centro, canto, lateral e suspensa)

r representa o raio da maior esfera que pode ser inscrita no compartimento onde está o equipamento. O programa calcula-o automaticamente, em m

R representa a componente do campo reverberante, em m²

$D_{nt,w}$ representa o índice de isolamento sonoro a sons aéreos, padronizado, em dB

K representa a correcção tonal do equipamento, em dB(A)

V representa o volume do compartimento receptor, em m³

$L_{Ar,nt}$ representa o nível de avaliação sonora, padronizado, em dB(A)

Para além destes parâmetros, o utilizador define para cada equipamento o tipo de funcionamento para realizar as verificações de acordo com o regulamento.

1.2.4. Avaliação do grau de incomodidade

O módulo Avaliação do grau de incomodidade inserido no programa Cypevac 3D, tem o objectivo de efectuar o estudo sobre a avaliação do cumprimento do grau de incomodidade sobre terceiros, relativamente ao ruído de equipamentos relacionados com a actividade em licenciamento.

Segundo o artigo 13.º do Regulamento Geral do Ruído (Decreto-Lei n.º 9/2007) a instalação e o exercício de actividades ruidosas permanentes em zonas mistas, nas envolventes das zonas sensíveis ou mistas ou na proximidade dos receptores sensíveis isolados estão sujeitos ao cumprimento dos valores limite fixados no artigo 11.º e ao cumprimento do critério de incomodidade, considerado como a diferença entre o valor do indicador L_{Aeq} do ruído ambiente determinado durante a ocorrência do ruído particular da actividade ou actividades em avaliação e o valor do indicador L_{Aeq} do ruído residual, diferença que não pode exceder 5 dB(A) no período diurno, 4 dB(A) no período do entardecer e 3 dB(A) no período nocturno, nos termos do anexo I ao presente Regulamento, do qual faz parte integrante.

$$L_{Aeq(r.a.p.c)} - L_{Aeq(r.r)} \leq \begin{cases} 5 \text{ dB(A)} - P. \text{ Diurno} + D \\ 4 \text{ dB(A)} - P. \text{ Entardecer} + D \\ 3 \text{ dB(A)} - P. \text{ Nocturno} + D \end{cases}$$

O cálculo do nível de avaliação sonora, L_{Ar} , produzido por cada equipamento em funcionamento, independentemente do horário de funcionamento do mesmo, calcula-se atendendo à seguinte formulação:

$$L_{Ar} = L_{Aeq} + K_1 + K_2 = L_w + 10 \times \log \left(\frac{D}{4 \times \pi \times r^2} + \frac{4}{R} \right) + \left\{ - (D_{nT,w} + C) + 10 \times \log \left(\frac{0.161 \times V}{A \times T_0} \right) \right\} + \{ K_1 + K_2 \}$$

onde:

L_w : Nível de potência sonora do equipamento, dB(A)

K_1 : Correção tonal, dB(A)

K_2 : Correção impulsiva, dB(A)

D: Factor de direccionalidade

r: Raio da maior esfera que pode ser inscrita no compartimento emissor, m

R: Componente do campo reverberante, m²

$D_{nT,w}$: Índice de isolamento sonoro a sons de condução aérea, padronizado, dB(A)

L_{Aeq} : Nível de pressão sonora, dB(A)

L_{Ar} : Nível de avaliação sonora, dB(A)

A expressão depende da potência sonora da fonte, da direccionalidade da fonte e a sua distância ao receptor, da reverberação que se produz no compartimento onde se produz a emissão sonora, isto no caso da fonte estar confinada num espaço fechado, e do isolamento acústico do elemento de separação entre compartimentos, quando a fonte não se encontra no compartimento receptor. É tido em conta a correção do ruído particular do equipamento no caso de possuir características tonais e ou impulsivas.

O programa permite introduzir qualquer equipamento, no interior ou exterior do compartimento cuja actividade se destina a licenciamento.

A listagem Avaliação do grau de incomodidade ilustra a formulação utilizada, bem como a justificação do cálculo e respectiva verificação. A mesma pode ser impressa ou exportada para ficheiro em formato TXT, HTML, PDF, RTF e DOCX.

2. Bibliografia

CEN: Comité Européen de Normalisation – Building Acoustics. Estimation of acoustic performance of buildings from the performance of elements. Part 1: Airborne sound insulation between rooms. EN ISO Standard 12354-1, 2000.

CEN: Comité Européen de Normalisation – Building Acoustics. Estimation of acoustic performance of buildings from the performance of elements. Part 2: Impact sound insulation between rooms. EN ISO Standard 12354-2, 2000.

CEN: Comité Européen de Normalisation – Building Acoustics. Estimation of acoustic performance of buildings from the performance of elements. Part 3: Airborne sound insulation against outdoor sound. EN ISO Standard 12354-3, 2000.

CEN: Comité Européen de Normalisation – Building Acoustics. Estimation of acoustic performance of buildings from the performance of elements. Part 4: Transmission of indoor sound to the outside. EN ISO Standard 12354-4, 2000.

PORTUGAL. Leis, decretos-lei, etc. – Regulamento Geral sobre o Ruído (RGR). Decreto-Lei nº9/2007 de 17 de Janeiro.

PORTUGAL. Leis, decretos-lei, etc. – Regulamento dos Requisitos Acústicos dos Edifícios (RRAE). Decreto-Lei nº96/2008, de 9 de Junho.

PATRÍCIO, J.V. – Acústica nos edifícios. Lisboa, 2008.

INSTITUTO EDUARDO TORROJA - Catálogo de Elementos Constructivos del CTE.

MARTINS DA SILVA, P. – Acústica de edifícios. Lisboa, LNEC, 1978. Informação Técnica de Edifícios ITE 8.

PATRÍCIO, J.V. – Isolamento sonoro a sons aéreos e de percussão. Metodologias de caracterização. Lisboa, LNEC, 1999, Informação Técnica de Edifícios ITE 45.

J.S. BRAZÃO FARINHA, M. BRAZÃO FARINHA, J.P. BRAZÃO FARINHA, A. CORREIA DOS REIS. – Tabelas técnicas. Lisboa 2003.

J. LLINARES, A. LLOPIS, J. SANCHO – ACUSTICA ARQUITECTONICA Y URBANISTICA – Universidad Politécnica de Valencia.