

Análise do desempenho acústico em sistemas de vedação e piso em edificações multifamiliares

Analysis of acoustic performance in wall and floor systems in multifamily buildings

Felipe Alves Amâncio(1); Stefanie Almeida Campos(2); Alisson Rodrigues de Oliveira Dias(3); Maria Fabiola de Carvalho Rafael(4); Alexandre Araújo Bertini(5)

1 Universidade Federal do Ceará (UFC), Fortaleza, CE, Brasil.

E-mail: felipeaamancio@hotmail.com | ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1349-683X>

2 Universidade Federal do Ceará (UFC), Fortaleza, CE, Brasil.

E-mail: stefaniealmeidac@gmail.com | ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0774-1368>

3 Universidade Federal do Ceará (UFC), Fortaleza, CE, Brasil.

E-mail: rodrigues_alisson@live.com | ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9892-6834>

4 Universidade Federal do Ceará (UFC), Fortaleza, CE, Brasil.

E-mail: mfabiolacr@gmail.com | ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8593-802X>

5 Universidade Federal do Ceará (UFC), Fortaleza, CE, Brasil.

E-mail: bertini@ufc.br | ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2024-4400>

Revista de Engenharia Civil IMED, Passo Fundo, vol. 6, n. 2, p. 35-52, Julho-Dezembro 2019 - ISSN 2358-6508

[Recebido: Novembro 22, 2018; Aceito: Agosto 26, 2019]

DOI: <https://doi.org/10.18256/2358-6508.2019.v6i2.3084>

Endereço correspondente / Correspondence address

Alexandre Araujo Bertini
Campus do Pici - Bloco 728
Fortaleza, Ceará - Brasil.
CEP 60.455-900

Sistema de Avaliação: *Double Blind Review*
Editora: Luciana Oliveira Fernandes

Como citar este artigo / How to cite item: [clique aqui! / click here!](#)

Resumo

A norma de desempenho NBR 15575 passou a exigir das construtoras padrões mínimos de qualidade e desempenho, a fim de atender as exigências dos usuários e buscar maior competitividade no mercado. Diferentemente do conforto térmico, o conforto acústico muitas vezes acaba tendo menor destaque, mesmo sabendo-se do desconforto e dos problemas causados pelos ruídos indesejados. Sendo assim, o presente trabalho tem por objetivo avaliar o desempenho acústico dos sistemas de vedação e de piso em edificações verticais multifamiliares. Para a coleta de dados, foram realizados ensaios de campo em edificações na cidade de Fortaleza conforme preconizado pela norma de desempenho ABNT NBR 15575:2013. Foram avaliados o isolamento a ruído aéreo nos sistemas de vedação e de piso e o isolamento a ruído de impacto no sistema de piso. Constatou-se que das 7 edificações analisadas, 2 não atendem ao desempenho mínimo em pelo menos um critério e que o uso da manta acústica melhora o desempenho acústico, notando-se uma relação estreita do conforto acústico com a espessura e o material do núcleo e do revestimento utilizados. Observa-se que os sistemas construtivos utilizados atualmente atendem apenas ao mínimo requisitado pela norma, sendo necessário o estudo de novas tecnologias para um melhor desempenho acústico das edificações construídas.

Palavras-chave: Desempenho acústico. Edificação. Sistema de vedação. Sistema de piso.

Abstract

The performance's standard NBR 15575 started to demand from builders the minimum standards of quality and performance, in order to attend the user's requirements and to seek greater market competitiveness. Unlike thermal comfort, acoustic comfort often ends up having less prominence, even knowing the discomfort and problems caused by unwanted noise. Therefore, the present work has as objective to evaluate the acoustic performance of wall and floor systems in vertical buildings. For data collection, field trials were carried out in buildings in the city of Fortaleza as recommended by the performance standard ABNT NBR 15575: 2013. Were evaluated the airborne insulation in wall and floor systems and the impact noise insulation in floor systems. It was verified that of 7 analyzed buildings, 2 did not reach the minimum performance in at least one criterion and that the use of acoustic blanket improves acoustic performance, observing a close relation of the acoustic comfort with the thickness and material of core and coating used. It is observed that construction systems currently used attend only the minimum required by the standard, being necessary the study of new technologies for a better acoustic performance of constructed buildings.

Keywords: Acoustic performance. Buildings. Wall systems. Floor systems.

1 Introdução

Com o crescente processo de verticalização das cidades e a evolução das tecnologias desenvolvidas pelo homem, houve um aumento significativo no nível de ruído proveniente das mais variadas fontes e com ele os malefícios causados ao ser humano (PEREYRON, 2008). A poluição sonora causa inúmeros efeitos à saúde humana, como os auditivos, relacionados a perdas auditivas e zumbidos, e efeitos cumulativos ou efeitos secundários e terciários, a saber: estresse, risco de hipertensão e infarto, além de efeitos socioculturais, estéticos e econômicos, como o isolamento social, queda da qualidade acústica na vizinhança e ainda a depreciação do valor dos imóveis (RIBAS; SCHMID; RONCONI, 2010).

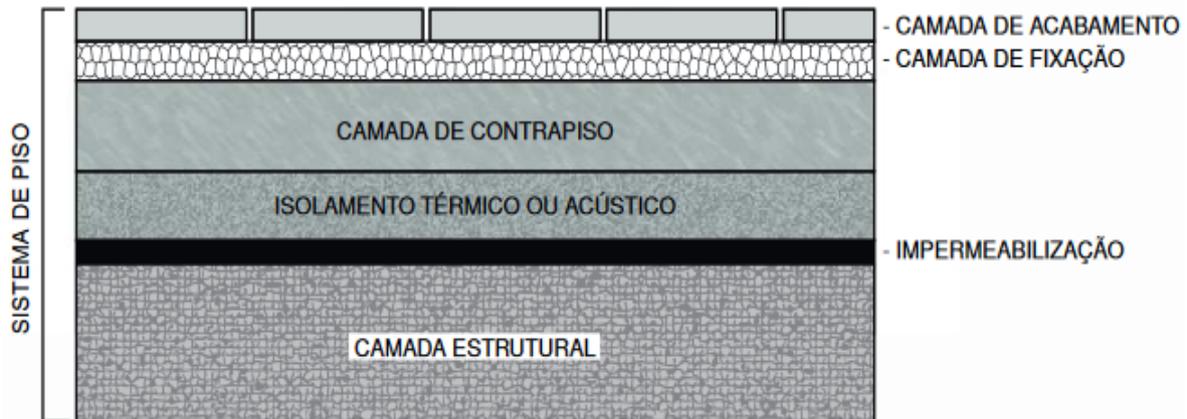
Aliado a isto, tem-se um fator muito importante: a satisfação do usuário no uso das edificações. Avaliações de pós-ocupação em edificações residenciais multifamiliares revelam as opiniões dos moradores quanto ao que eles vivenciam, gerando feedback aos projetistas em relação à satisfação do usuário. Pesquisas demonstram que mais de 60% dos usuários criticam o ambiente térmico da edificação, 88% dos participantes criticam o desempenho lumínico e 90% dos usuários são insatisfeitos com as suas unidades residenciais quanto ao desempenho acústico, comprovando a urgência do desenvolvimento de edificações com melhor desempenho (BROWN, 2016). Devido a isso, aumenta-se a preocupação em oferecer edificações com desempenho que atendam às necessidades dos usuários, em especial o desempenho acústico. Em adição, Duarte e Viveiros (2004) explicam que em alguns países tropicais, como o Brasil, as edificações apresentam desempenho acústico extremamente baixo, o que torna necessário o estudo desta temática.

O desempenho das edificações é um tema bastante discutido atualmente devido a publicação do conjunto de normas da ABNT NBR 15575: Edificações habitacionais – Desempenho e a obrigatoriedade do seu cumprimento. A norma apresenta quanto às responsabilidades dos envolvidos no projeto: a comprovação de atendimento às normas técnicas dos produtos de fornecedores de materiais e insumos em geral, o estabelecimento da vida útil de projeto de cada sistema que compõe a edificação, a especificação de materiais e componentes que tenham desempenho mínimo aceitável pelo projetista, e a elaboração do manual de uso e operação da edificação que deve ser entregue ao usuário pelo construtor ou incorporador, para que esse possa executar as manutenções preventivas e corretivas devidas sem prejudicar o funcionamento dos componentes da edificação (ABNT, 2013a).

Conforme Nunes, Zini e Pagnussat (2014), com o processo de adensamento urbano, os sistemas de piso ganharam destaque quanto ao conforto acústico, tendo em vista que suas características e sua composição contribuem para a qualidade acústica em uma unidade habitacional. A NBR 15575:2013 conceitua como sistema de piso

um sistema horizontal ou inclinado, que tenha um conjunto de camadas (camada estrutural, contrapiso, camada de fixação, acabamento) destinado a atender à função de estrutura, vedação horizontal e tráfego. A Figura 1 apresenta um exemplo de sistema de piso.

Figura 1 - Exemplo genérico de um sistema de pisos



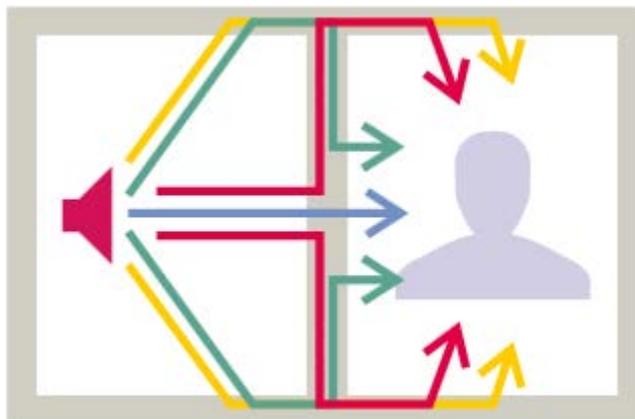
Fonte: NBR 15575-3:2013.

Os autores complementam afirmando que diferentemente das vedações, que tem sua espessura mínima definida, os pisos ainda não foram devidamente considerados como um elemento de separação entre unidades habitacionais, e o principal critério para a escolha de um tipo de camada estrutural é a possibilidade de vencer um determinado vão ao menor custo possível.

Mas os sistemas de vedação, ou seja, as partes da edificação que limitam verticalmente os seus ambientes, também influem fortemente no conforto do usuário. No intuito de melhorar o desempenho acústico deste sistema, Birlik (2001) explica que o isolamento acústico de uma parede de alvenaria pode ser aumentado com a aplicação de revestimentos de argamassa, a instalação de revestimentos do tipo drywall com lã de rocha ou lã de vidro, e a qualificação das características de isolamento acústico dos blocos. Entre os materiais frequentemente utilizados no setor da construção civil para sistemas de vedação, tem-se utilizado de forma significativa blocos cerâmicos vazados, dado o conhecimento de suas propriedades e a familiaridade da mão de obra com o produto (SCHERER, 2017).

Pierrard e Akkerman (2013) explicam que a transmissão de ruído aéreo entre duas unidades habitacionais vizinhas ou sobrepostas ocorre através da própria parede ou piso e dos elementos laterais, como outras paredes ou pisos. Essas transmissões dependem das propriedades das soluções construtivas, das uniões entre elas e da geometria dos recintos. A Figura 2 apresenta um esquema de transmissão de ruído aéreo por vedação vertical.

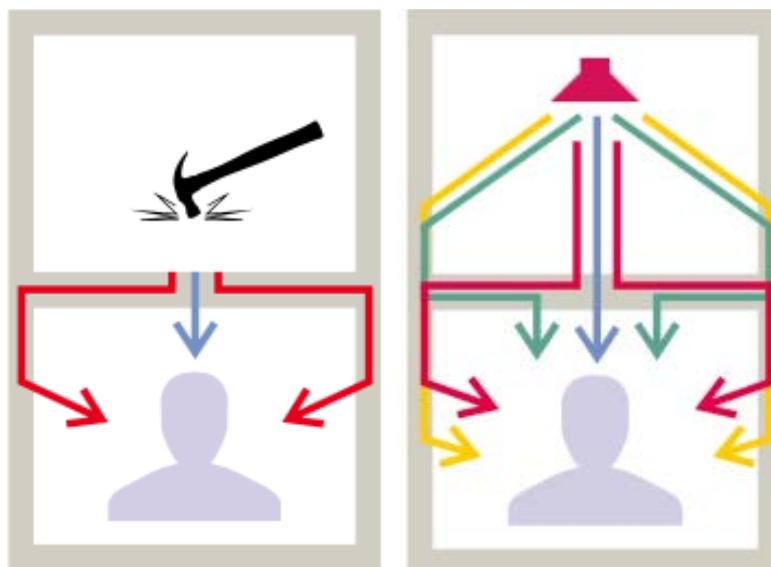
Figura 2 - Transmissão de ruído aéreo pela vedação vertical



Fonte: PIERRARD; AKKERMAN, 2013.

Pelo sistema de pisos, o processo de transmissão de ruídos pode ocorrer de duas formas: ruído de impacto e ruído aéreo. Pierrard e Akkerman (2013) explicam que a transmissão de ruído entre duas unidades habitacionais sobrepostas em uma edificação também se produz através do próprio sistema de piso e os elementos laterais ou paredes, conforme ilustrado nas Figuras 3a e 3b.

Figura 3 - (a) Transmissão de ruído de impacto e (b) transmissão de ruído aéreo pelo sistema de pisos



Fonte: PIERRARD; AKKERMAN, 2013.

A ABNT NBR 15575-4:2013 apresenta três níveis de desempenho: mínimo (M), intermediário (I) e superior (S) para os critérios analisados. Para os sistemas de vedação, é utilizado um critério para avaliação do desempenho acústico: a diferença padronizada de nível ponderada (DnT,w). A metodologia de obtenção desse parâmetro está explicada na Seção 3. A Tabela 1 apresenta os valores de DnT,w , um dos critérios de desempenho acústico do sistema de vedação para ruído aéreo.

Tabela 1 - Diferença padronizada de nível ponderada entre ambientes (D_nT_w) para os sistemas de vedação analisados

| Elemento | D_nT_w (dB) | Nível de desempenho |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------|---------------------|
| Parede entre unidades habitacionais autônomas (parede de geminação), nas situações onde não haja ambiente dormitório | 40 a 44 | M |
| | 45 a 49 | I |
| | ≥ 50 | S |
| Parede entre unidades habitacionais autônomas (parede de geminação), no caso de pelo menos um dos ambientes ser dormitório | 45 a 49 | M |
| | 50 a 55 | I |
| | ≥ 55 | S |
| Parede cega de dormitórios entre uma unidade habitacional e áreas comuns de trânsito eventual, como corredores e escadaria nos pavimentos. | 40 a 44 | M |
| | 45 a 49 | I |
| | ≥ 50 | S |

Fonte: Adaptado de ABNT, 2013c.

Para os sistemas de piso, são utilizados dois critérios para avaliação do desempenho acústico: a diferença padronizada de nível ponderada (D_nT_w) e o nível de pressão sonora de impacto padrão ponderado (L_nT_w). A metodologia de obtenção desses parâmetros está definida na Seção 3. As Tabelas 2 e 3 apresentam os valores dos critérios para os níveis de desempenho conforme o ambiente em que o sistema de piso esteja situado.

Tabela 2 - Critérios de diferença padronizada de nível ponderada (D_nT_w) para os sistemas de piso analisados

| Elemento | D_nT_w (dB) | Nível de desempenho |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------|---------------------|
| Sistema de piso separando unidades habitacionais autônomas, no caso de um dos ambientes ser dormitório. | 45 a 49 | M |
| | 50 a 54 | I |
| | ≥ 55 | S |

Fonte: Adaptado de ABNT, 2013b.

Tabela 3 - Critérios e níveis de pressão sonora de impacto-padrão ponderado (L_nT_w) para os sistemas de piso analisados

| Elemento | L_nT_w (dB) | Nível de desempenho |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------|---------------------|
| Sistema de piso separando unidades habitacionais autônomas posicionadas em pavimentos distintos | 66 a 80 | M |
| | 56 a 65 | I |
| | ≤ 55 | S |

Fonte: Adaptado de ABNT, 2013b.

Neste sentido, o presente trabalho visa avaliar o desempenho acústico a ruído aéreo dos sistemas de vedação vertical, com medições em campo de uma amostra de edificações verticais localizadas na cidade de Fortaleza/CE. O trabalho também

visa avaliar o desempenho acústico a ruído aéreo e de impacto dos sistemas de piso dos mesmos ambientes das edificações citadas, para que seja identificado o nível de desempenho alcançado pelos principais sistemas construtivos utilizados em obras habitacionais e feita uma análise da relação entre as envoltórias do ambiente para o conforto acústico do usuário inserido nele.

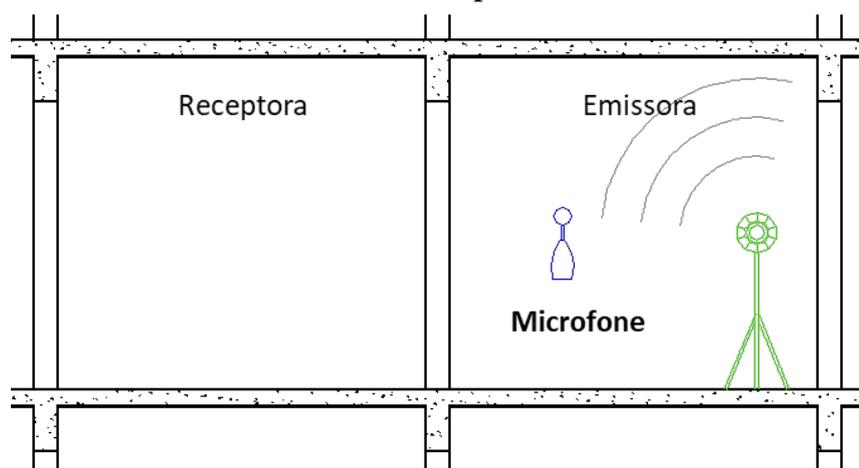
2 Método

Os equipamentos utilizados para os ensaios foram: fonte sonora multidirecional dodecaédrica, calibrador de microfones, microfones pré-polarizados, analisador portátil, amplificador de potência e *Tapping Machine*. Todos os equipamentos utilizados são da marca *Bruel & Kjaer* com certificados de calibração dentro da data de validade.

2.1 Isolamento acústico a ruído aéreo entre recintos

O método de ensaio para avaliar o isolamento a ruído aéreo entre recintos é o descrito na ISO 140-4:1998 conforme a ABNT NBR 15575:2013. O analisador realiza a emissão do ruído branco ou rosa através da fonte sonora multidirecional ligada no amplificador de potência. Essa ação possibilita a captação dos ruídos através do analisador portátil, tanto na sala de emissão quanto na de recepção, pois o analisador tem a capacidade de operar em dois canais de microfone simultaneamente. Os níveis de pressão sonora são medidos em bandas frequências de terço de oitava nos ambientes emissor e receptor, como mostrado na Figura 4.

Figura 4 - Detalhe do posicionamento dos equipamentos nos ambientes receptor e emissor



Fonte: CBIC (2013).

A partir destes dados é calculada a curva de isolamento acústico a ruído aéreo (DnT) em bandas frequências entre os dois recintos. Essa curva pode ser convertida

em um índice global, denominado de diferença de nível padronizada (DnT,w) através do procedimento especificado na norma ISO 717-1. O índice será comparado com os requisitos da legislação vigente.

2.2 Isolamento acústico a ruído de impacto

O método de ensaio para a avaliação do isolamento a ruído de impacto de sistemas de pisos é o descrito na norma internacional ISO 140-7. Com uma máquina de impactos padronizada (*Tapping Machine*) localizada sobre o piso, utiliza-se um sonômetro-analisador para medir no recinto receptor os níveis de pressão sonora em bandas frequências de terço de oitava, como mostrado na Figura 5.

Figura 5 - Detalhe do posicionamento dos equipamentos para a medição do ruído de impacto



Fonte: CBIC (2013).

Complementarmente são realizadas medições do tempo de reverberação para serem realizadas as correções necessárias em função da absorção do recinto receptor. A partir destes dados é calculada a curva de nível de pressão sonora de ruído de impacto (LnT) em bandas frequências entre os dois recintos. Esta curva pode ser convertida em um índice global de um único número (nível de pressão sonora de ruído de impactos padronizado – LnT,w) através do procedimento especificado na norma ISO 717-2. Este índice será comparado com os requisitos da legislação vigente.

2.3 Tipos de ambientes analisados

As edificações analisadas estão localizadas na cidade de Fortaleza e consistem em edificações habitacionais multifamiliares de empresas distintas. A Tabela 4 apresenta os ambientes onde foram realizadas as medições em cada edificação, bem como as respectivas áreas e volumes.

Tabela 4 – Áreas e volumes dos ambientes objeto de estudo

| Edif | Item | Ruído aéreo na vedação (sem dormitório) | | Ruído aéreo na vedação (com dormitório) | | Ruído aéreo e de impacto nos pisos | |
|-------|---------------------|--------------------------------------------|----------------------|-----------------------------------------------|----------------------|---------------------------------------|----------------------|
| | | Ambiente emissão | Ambiente recepção | Ambiente emissão | Ambiente recepção | Ambiente emissão | Ambiente recepção |
| Edif1 | Local | | | | | Suíte | Suíte |
| | A (m ²) | - | - | - | - | 18,92 | 18,92 |
| | V (m ³) | | | | | 52,97 | 52,97 |
| Edif2 | Local | Estar/jantar | Estar/jantar | Suíte | Suíte | Suíte | Suíte |
| | A (m ²) | 20,66 | 20,66 | 12,74 | 12,74 | 12,74 | 12,74 |
| | V (m ³) | 57,84 | 57,84 | 35,67 | 35,67 | 35,67 | 35,67 |
| Edif3 | Local | | | | | Suíte | Suíte |
| | A (m ²) | - | - | - | - | 12,37 | 12,37 |
| | V (m ³) | | | | | 29,56 | 29,56 |
| Edif4 | Local | Sala estar | Sala estar | Suíte | Suíte | Suíte | Suíte |
| | A (m ²) | 18,03 | 18,03 | 10,38 | 10,38 | 10,38 | 10,38 |
| | V (m ³) | 50,48 | 50,48 | 20,06 | 20,06 | 20,06 | 20,06 |
| Edif5 | Local | Sala estar | Cozinha | Suíte | Suíte | | |
| | A (m ²) | 19,84 | 8,03 | 13,08 | 7,28 | - | - |
| | V (m ³) | 55,55 | 22,48 | 36,6 | 20,39 | | |
| Edif6 | Local | Estar/jantar | Estar/jantar | Quarto | Quarto | Suíte | Suíte |
| | A (m ²) | 15,62 | 15,62 | 9,03 | 9,03 | 5,16 | 5,16 |
| | V (m ³) | 40,61 | 40,61 | 23,47 | 23,47 | 13,41 | 13,41 |
| Edif7 | Local | Estar/jantar | Estar/jantar | Hall | Suíte | | |
| | A (m ²) | 16,5 | 16,5 | 2,49 | 10,25 | - | - |
| | V (m ³) | 42,9 | 42,9 | 6,5 | 26,6 | | |

Fonte: CETIS, 2016a; CETIS, 2016b; CETIS, 2016c; CETIS, 2016d; ISTEMM, 2015a; ISTEMM, 2015b; ISTEMM, 2015c.

Por fim, são apresentadas na Tabela 5 as características construtivas dos sistemas de vedação vertical e de piso das edificações analisadas. Não foram analisados os sistemas de vedação das edificações 1 e 3 nem os sistemas de piso das edificações 5 e 7, pois as construtoras responsáveis pelas edificações não demonstraram interesse em analisá-los.

Tabela 5 - Características construtivas dos ambientes objeto de estudo

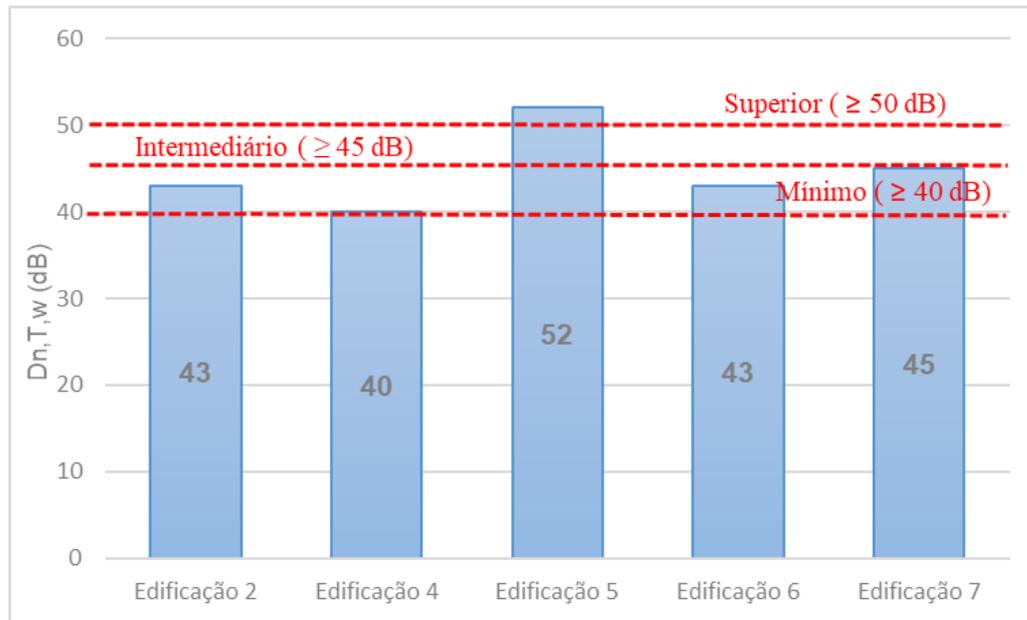
| Edif. | Sistema construtivo de vedação | Sistema construtivo de piso |
|---------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Edif. 1 | - | Laje nervurada 25 cm (mesa = 4 cm e nervura = 21 cm), forro de chapa de gesso acartonado (1,5 cm) e revestimento de Argamassa de cimento (5 cm) |
| Edif. 2 | Paredes internas: bloco de gesso de 7 cm, paredes externas: bloco cerâmico de 9 x 19 x 19 cm com revestimento interno de gesso de 2 cm | Laje nervurada 26 cm (mesa = 5 cm e nervura = 21 cm), forro de chapa de gesso acartonado e revestimento de Argamassa de cimento (6 cm) + manta de isolamento (1 cm) |
| Edif. 3 | - | Laje nervurada 25 cm (mesa = 4 cm e nervura = 21 cm), forro de chapa de gesso acartonado (1,5 cm) e revestimento de Argamassa de cimento (5 cm) |
| Edif. 4 | Paredes externas: tijolo cerâmico estrutural 14 x 19 x 29 cm, paredes internas: tijolo cerâmico 10 x 20 x 20 cm e do tipo 7 x 20 x 20 cm | Laje treliçada 15 cm (capa = 5 cm e enchimento em tijolo cerâmico h-10), forro de gesso e revestimento de placas cerâmicas |
| Edif. 5 | Alvenaria de vedação em blocos cerâmicos de dimensões 9 x 19 x 19 cm, assentados com argamassa polimérica e cobertos com argamassa de cimento e areia | - |
| Edif. 6 | Alvenaria estrutural com blocos de concreto de esp. 14 cm, com revestimento de gesso interno de espessura de 7 cm | Laje maciça 13 cm, forro de chapa de gesso acartonado (3 cm) e revestimento de argamassa de cimento (5 cm) |
| Edif. 7 | Paredes internas e externas em alvenaria de tijolo cerâmico 8 furos, de dimensões 9 x 19 x 19 cm, coberto nas 2 faces com argamassa de cimento e areia | - |

Fonte: CETIS, 2016a; CETIS, 2016b; CETIS, 2016c; CETIS, 2016d; ISTEMM, 2015a; ISTEMM, 2015b; ISTEMM, 2015c.

3 Resultados e Discussões

Primeiramente, foram analisados os resultados obtidos em campo da $D_{n,T,w}$ das vedações e comparados com as exigências estabelecidas na NBR 15575-4:2013. A Figura 6 apresenta o resultado do isolamento ao ruído aéreo no sistema de vedação no caso onde nenhum dos ambientes sejam dormitórios.

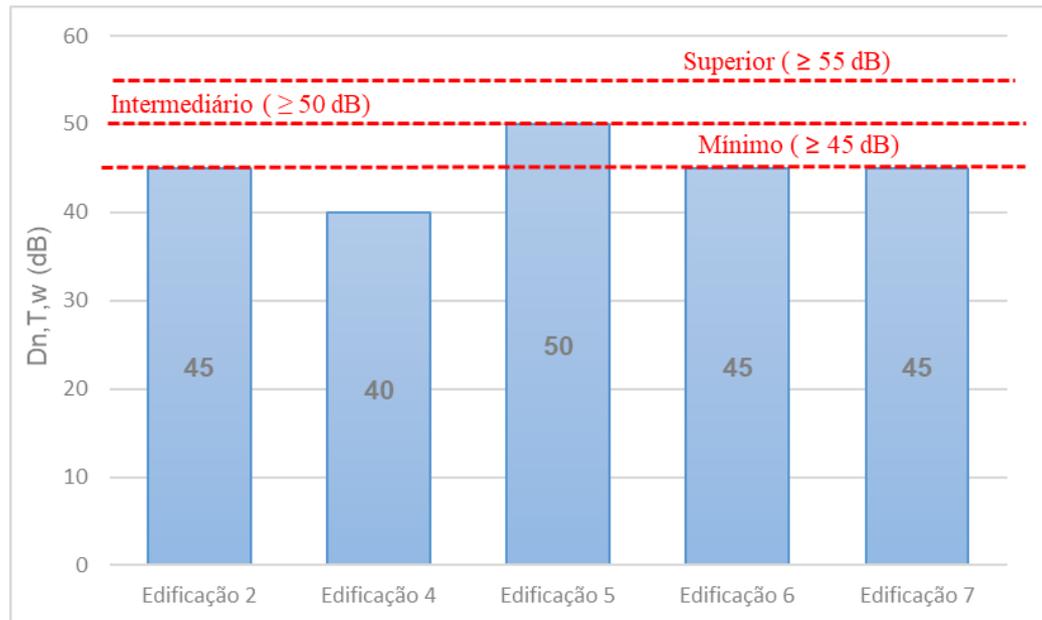
Figura 6 - Isolamento acústico a ruído aéreo de vedações (sem dormitório)



Fonte: Autores (2019).

Todas as edificações investigadas atenderam ao desempenho mínimo da norma de desempenho. Percebe-se que a Edificação 5 foi a que apresentou o melhor desempenho acústico (nível de desempenho superior) no sistema de vedação, no qual utilizou-se um sistema de blocos cerâmicos e revestimento em argamassa de cimento e areia, corroborando com Birlik (2001), que mostra que o uso da argamassa de revestimento pode assegurar ganho no isolamento de uma parede de alvenaria. Apesar do mesmo tipo de bloco cerâmico na Edificação 5 ser utilizado nas Edificações 4 e 7, tais sistemas não atingiram o mesmo desempenho, pois os volumes dos ambientes emissores e receptores são diferentes em cada caso. O volume desses ambientes influi nas formas de transmissão do som e conseqüentemente no valor de $D_{n,T}$ (ISO, 1998a). Observa-se que na medição de campo da Edificação 5, o volume do ambiente de emissão é maior que o do ambiente de recepção, enquanto nos outros casos esses volumes são iguais.

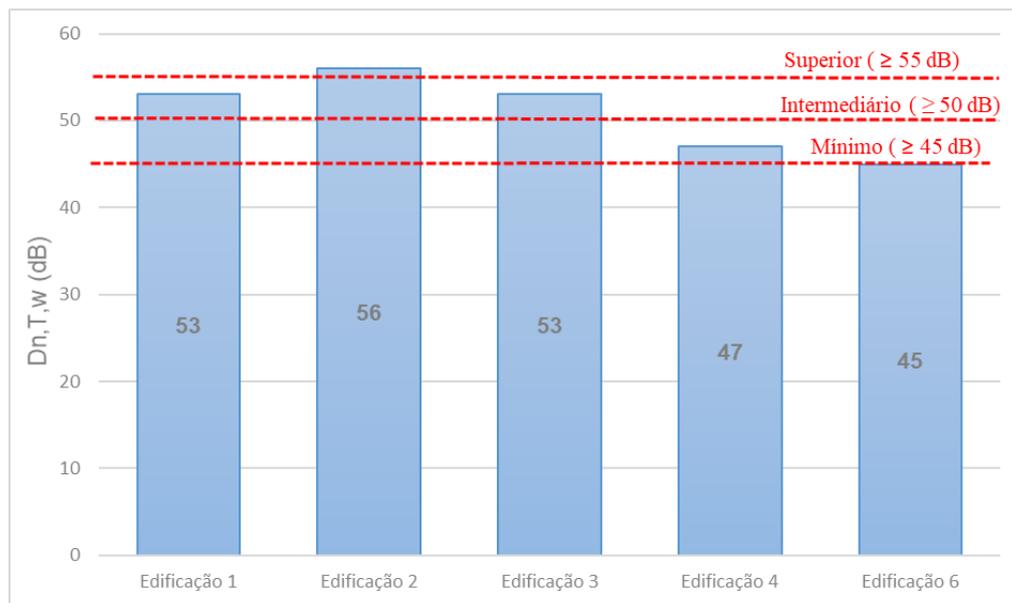
O resultado do isolamento acústico a ruído aéreo em sistemas de vedações, no caso de quando um dos ambientes seja dormitório, é apresentado na Figura 7.

Figura 7 - Isolamento acústico a ruído aéreo de vedações (com dormitório)

Fonte: Autores (2019).

Nessa análise, observa-se que apenas a edificação 4 não apresentou o desempenho mínimo, onde exige-se uma diferença padronizada de nível ponderada entre ambientes maior ou igual a 45 dB. A referida edificação apresenta um valor na ordem de 40 dB, mesmo com uma espessura de parede igual às utilizadas nas edificações 2 e 5. Esse baixo valor prejudica a qualidade do ambiente construído, não propiciando o conformo mínimo ao usuário da edificação. Labres et al. (2018) afirma que defeitos construtivos durante a execução do sistema podem influir negativamente no conforto acústico. Observa-se mais uma vez que o fato de o volume do ambiente de emissão ser maior que o do ambiente de recepção (caso da edificação 5) gera um melhor conforto acústico ao usuário. Paixão (2002) demonstra que as dimensões e a forma de fixação da parede são fatores que podem mudar substancialmente o desempenho acústico de uma parede. Também é possível concluir que ambientes receptores com volumes menores (caso da edificação 4) geram um pior desempenho acústico do que ambientes maiores (caso da edificação 2).

Quanto aos sistemas de piso, também verificou-se o atendimento aos níveis de desempenho exigidos por norma. A Figura 8 apresenta o resultado da análise do isolamento a ruído aéreo nos sistemas de piso das edificações analisadas, correlacionando com os níveis exigidos pela norma de desempenho. Observa-se que apenas a edificação 2 apresentou desempenho acústico superior quanto ao ruído aéreo no sistema de pisos. Isto se deve ao fato de que a edificação 2 apresenta no sistema de piso uma manta de isolamento acústico, item que tem como função atenuar a passagem do som pelo sistema.

Figura 8 - Isolamento acústico a ruído aéreo dos sistemas de piso

Fonte: Autores (2019).

As edificações 1 e 3 apresentaram nível intermediário em relação ao ruído aéreo entre pisos, apresentando ainda o mesmo valor de diferença de níveis padronizada ($Dn_{T,w}$). Elas apresentaram esse resultado devido ao mesmo material e espessura utilizados para laje, forro e revestimento, que são laje nervurada de 25 cm, forro de chapa de gesso acartonado e revestimento sobre o piso de argamassa de cimento de 5 cm de espessura. O restante da amostra, representados pelas edificações 4 e 6, apresentaram nível mínimo quanto a esse requisito. A edificação 4 apresenta apenas placas cerâmicas assentadas sobre a laje, enquanto a edificação 6 apresenta uma laje maciça de 13 cm.

Os resultados corroboram com estudos realizados por Silva e Silva (2014) que constataram que quanto ao ruído aéreo em sistemas de piso, o sistema composto por laje nervurada, contrapiso, revestimento cerâmico e forro de gesso possui melhor desempenho que uma laje maciça de 10 cm com contrapiso e revestimento em edificações da região do nordeste do Brasil.

O resultado do desempenho acústico do sistema de piso em relação ao nível de pressão sonora de ruído de impactos padronizado, $L_{nT,w}$ é apresentado na Figura 9.

Figura 9 - Isolamento acústico a ruído de impacto nos sistemas de piso


Fonte: Autores (2019).

As edificações 4 e 6 não apresentaram o nível mínimo de desempenho acústico quanto ao impacto no piso. Observa-se que essas foram as mesmas que apresentaram desempenho mínimo no isolamento a ruído aéreo, mostrando que os sistemas construtivos não atendem a norma de desempenho nesse item. Pedreno-Rojas et al. (2017) afirmam que a existência de um forro falso com chapas de gesso abaixo da laje proporciona melhor desempenho acústico para o ambiente. Nota-se que essas duas edificações citadas são as únicas da amostra que não são compostas por esse sistema, tendo apenas uma laje maciça separando os ambientes. As edificações 1 e 3, que são sistemas de piso compostos pela combinação de laje nervurada com forro de chapa de gesso, apresentaram desempenho mínimo, com 76 dB e 72 dB, respectivamente. A edificação 2 apresentou o maior valor de $L'_{nT,w}$, enquadrando-se no nível intermediário, possivelmente por apresentar manta de isolamento acústico na laje, que favorece o desempenho acústico do ambiente.

A Tabela 6 traz o resumo do nível de desempenho alcançado pelos sistemas de vedação e de piso em cada uma das obras analisadas.

Tabela 6 - Resumo do nível de desempenho dos sistemas de vedação e de piso das edificações analisadas

| Edificação | Nível de desempenho | | | |
|--------------|------------------------------|------------------------------|----------------------------------|--------------------------------------|
| | Ruído aéreo (sem dormitório) | Ruído aéreo (com dormitório) | Ruído de impacto ($L'_{nT,w}$) | Ruído aéreo entre pisos (D_nT_w) |
| Edificação 1 | - | - | Mínima | Intermediária |
| Edificação 2 | Mínima | Mínima | Intermediária | Superior |
| Edificação 3 | - | - | Mínima | Intermediária |

| Edificação | Nível de desempenho | | | |
|--------------|---------------------------------|------------------------------------|-----------------------------|--------------------------------------|
| | Ruído aéreo (sem dormitório) | Ruído aéreo (com dormitório) | Ruído de impacto (L'nTw) | Ruído aéreo entre pisos (DnTw) |
| Edificação 4 | Mínima | Não atende | Não atende | Mínima |
| Edificação 5 | Superior | Intermediária | - | - |
| Edificação 6 | Mínima | Mínima | Não atende | Mínima |
| Edificação 7 | Intermediária | Mínima | - | - |

Fonte: Autores (2019).

Considerando-se cinco edificações analisada no primeiro critério, três atingem apenas o nível mínimo de desempenho acústico quanto ao ruído aéreo em vedações quando não há dormitórios, enquanto apenas uma das edificações atinge o nível superior. Observa-se que na análise do desempenho acústico quanto ao ruído aéreo em vedações quando há dormitório, também três das edificações alcançam apenas o nível mínimo, enquanto a edificação 4 não atende nem ao mínimo especificado em norma.

Quanto ao ruído de impacto no sistema de piso, duas de cinco edificações não atenderam ao nível mínimo de desempenho, e outras duas atenderam somente ao nível mínimo com LnTw maior que 80 dB. Em relação ao ruído aéreo entre sistemas de piso, todas atenderam ao nível mínimo de desempenho. Apenas uma edificação alcançou o nível superior de desempenho nesse parâmetro, que é a edificação 2, único sistema que contém manta de isolamento. Observa-se que o uso da manta acústica no sistema construtivo de piso melhora substancialmente o desempenho acústico, notando-se uma relação estreita do conforto acústico com a espessura e o material da laje e do revestimento utilizados.

4 Considerações finais

Com o crescimento da discussão acerca do desempenho das edificações, do alto índice de ruídos na cidade e do grande número de habitantes que moram em grandes cidades, é necessário que as empresas busquem oferecer edificações de melhor qualidade e que atendam às necessidades dos usuários. A busca pelo conforto acústico tem aumentado consideravelmente a preocupação das construtoras com os sistemas construtivos utilizados, no intuito de atender as exigências da norma de desempenho e aumentar a competitividade das empresas no mercado imobiliário.

No estudo realizado, observou-se o conforto acústico desempenhado pelos sistemas de vedação vertical tipicamente utilizados na construção de habitações: a alvenaria tradicional e a alvenaria estrutural. Conclui-se que grande parte das edificações atendem apenas ao nível mínimo de desempenho, ocorrendo que em alguns casos nem o mínimo é atendido. Quanto aos sistemas de pisos, constata-se que

as todas as edificações analisadas tiveram desempenho mínimo exigido por norma quanto a ruídos aéreos, enquanto que no requisito de ruído de impacto no piso, duas das seis edificações não atenderam ao requisito mínimo, afetando assim a qualidade da edificação oferecida ao usuário e conseqüentemente a habitabilidade e qualidade de vida.

Como sugestões futuras de trabalho, indica-se o estudo de sistemas construtivos que atendam aos níveis de desempenho intermediário e superior, pois observa-se que os utilizados têm uma capacidade baixa de atendimento aos níveis da norma, sendo necessário o estudo de novas tecnologias e materiais para a utilização em sistemas de vedação e piso que possam oferecer um conforto acústico de nível superior aos usuários. Também é ideal que esses novos sistemas estejam associados a um menor impacto ambiental para a construção de edificações habitacionais multifamiliares mais sustentáveis.

Agradecimentos

À Coordenadoria de Aperfeiçoamento de Nível Superior (CAPES), pelo apoio financeiro e ao Departamento Regional do Ceará do Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial (SENAI) pela colaboração com a pesquisa.

Referências

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *ABNT NBR 15575-1*: Edificações habitacionais – Desempenho. Parte 1: Requisitos gerais. Rio de Janeiro, 2013a.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *ABNT NBR 15575-3*. Edificações habitacionais – Desempenho. Parte 3: Requisitos para os sistemas de pisos. Rio de Janeiro, 2013b.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *ABNT NBR 15575-4*. Edificações habitacionais – Desempenho. Parte 4: Requisitos para os sistemas de vedação. Rio de Janeiro, 2013c.

BIRLIK, G. The contribution of perlite to the sound transmission loss of solid masonry walls. *Building Acoustics* v. 8, n. 3, p. 237–244, 2001.

BROWN, C. The power of qualitative data in post-occupancy evaluations of residential high-rise buildings. *Journal of Housing and the Built Environment*, v. 31, n. 4, p. 605–620, 2016.

CÂMARA BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DA CONSTRUÇÃO (CBIC). Desempenho de edificações habitacionais: guia orientativo para atendimento à norma ABNT NBR 15575/2013. Fortaleza, 2013.

CENTRO DE EXCELÊNCIA EM TECNOLOGIA E INOVAÇÃO SENAI (CETIS). *Relatório de Medição Acústica nº 02/2016*. Fortaleza, 2016a.

CENTRO DE EXCELÊNCIA EM TECNOLOGIA E INOVAÇÃO SENAI (CETIS). *Relatório de Medição Acústica nº 03/2016*. Fortaleza, 2016b.

CENTRO DE EXCELÊNCIA EM TECNOLOGIA E INOVAÇÃO SENAI (CETIS). *Relatório de Medição Acústica nº 04/2016*. Fortaleza, 2016c.

CENTRO DE EXCELÊNCIA EM TECNOLOGIA E INOVAÇÃO SENAI (CETIS). *Relatório de Medição Acústica nº 05/2016*. Fortaleza, 2016d.

DUARTE, E. A. C; VIVEIROS, E. B. Acoustic Degradation of Buildings along Historical Evolution of Architecture: The Construction of a Timeline. In: 18th International Congress on Acoustics. Kyoto, 2004a.

INSTITUTO SENAI DE TECNOLOGIA EM ELETROMETALMECÂNICA (ISTEMM). *Relatório de Medição Acústica nº 05/2015*. Fortaleza, 2015a.

INSTITUTO SENAI DE TECNOLOGIA EM ELETROMETALMECÂNICA (ISTEMM). *Relatório de Medição Acústica nº 07/2015*. Fortaleza, 2015b.

INSTITUTO SENAI DE TECNOLOGIA EM ELETROMETALMECÂNICA (ISTEMM). *Relatório de Medição Acústica nº 08/2015*. Fortaleza, 2015c.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. *ISO 140-4*: Acoustics – Measurement of sound insulation in buildings and of building elements. Part 4: Field measurements of airborne sound insulation between rooms. 1998a.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. *ISO 140-7: Acoustics – Measurement of sound insulation in buildings and of building elements. Part 7: Field measurements of impact sound insulation of floors.* 1998b.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. *ISO 717-1: Acoustics – Rating of sound insulation in buildings and of building elements. Part 1: Airborne sound insulation.* 2013.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. *ISO 717-2: Acoustics – Rating of sound insulation in buildings and of building elements. Part 2: Impact sound insulation.* 2013.

LABRES, H. et al. Acoustic performance of brick masonry walls: Construction defects and influence of installations. *Building Acoustics*, [s. l.], v. 25, n. 4, p. 351–362, 2018.

NUNES, M.F.O.; ZINI, A.; PAGNUSSAT, D. T. Desempenho Acústico de Sistemas de Piso: Estudos de Caso Para Isolamento ao Ruído Aéreo e de Impacto. *Acústica e vibrações* nº 46, 2014.

PAIXÃO, D. X. Caracterização do isolamento acústico de uma parede de alvenaria utilizando Análise Estatística de Energia (SEA). 2002. 182 f. Tese (Doutorado em Engenharia de Produção) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2002.

PEREYRON, D. *Estudo de tipologias de lajes quanto ao isolamento ao ruído de impacto.* Dissertação (Mestrado). Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil. Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, RS, 2008. 106 p.

PIERRARD, J. F.; AKKERMAN, D. *Manual ProAcústica sobre a Norma de Desempenho.* RUSH Gráfica e Impressora Ltda. 1ª Edição. 2013.

RIBAS, A; SCHMID, A.; RONCONI, E. Topofilia, conforto ambiental e o ruído urbano como risco ambiental: a percepção de moradores dos Setores Especiais Estruturais da cidade de Curitiba. *Desenvolvimento e Meio Ambiente*, n. 21, p. 183-199, 2010.

PEDRENO-ROJAS, M. A. et al. Eco-efficient acoustic and thermal conditioning using false ceiling plates made from plaster and wood waste. *Journal of Cleaner Production*, v. 166, 2017.

SCHERER, C. T. *Desempenho acústico de sistemas de vedações verticais internas: avaliação de conjuntos de portas e paredes separadas pelo hall de entrada.* Dissertação (mestrado) – Programa de pós-graduação em arquitetura e urbanismo. Universidade do Vale do Rio dos Sinos, Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo, São Leopoldo, RS. 2017.

SILVA Jr., OTÁVIO J.S.; SILVA, Angelo J.C. *Panorama do comportamento acústico em edificações do nordeste brasileiro – resultados de estudos de casos.* In: 1º Simpósio de argamassas e soluções térmicas de revestimento, v. 1, 2014, Coimbra/Portugal. Anais... Coimbra/Portugal: ITeCons. 2014.