



## **ANÁLISE DE ISOLAÇÃO ACÚSTICA EM PAREDES DE HABITAÇÃO POPULAR EXECUTADAS COM SISTEMA CONSTRUTIVO UTILIZANDO RESÍDUOS DE PNEUS**

**Dinara Xavier da Paixão (1); Benoine Josué Poll (2);  
Álisson Panassol Dondé (3); Jordan Mendes Pimentel (4)**

(1) Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil (PPGEC) da Universidade Federal de Santa Maria, Rio Grande do Sul, Brasil – Professora orientadora – Coordenadora do Grupo de Pesquisa CNPq/UFSM *Acústica* - e-mail: dinarapaixa@smail.ufsm.br ou acusticaufsm@yahoo.com.br

(2) Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil (PPGEC) da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), Rio Grande do Sul, Brasil – Aluno mestrando – e-mail: arqpoll@yahoo.com.br

(3) Curso de Engenharia Civil da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), Rio Grande do Sul, Brasil – Aluno graduando – e-mail: alissonengcivil@yahoo.com.br

(4) Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil (PPGEC) da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), Rio Grande do Sul, Brasil – Aluno mestrando: jordan@mail.ufsm.br

### **RESUMO**

Proposta: O presente trabalho avalia o isolamento acústico de paredes executadas com painéis pré-moldados, construídos por mão de obra carcerária e com material reciclável (borracha de pneus). Esse sistema construtivo tem sido empregado, há quase duas décadas, na autoconstrução de edificações populares (regime de mutirão). Método de pesquisa/Abordagem: A análise acústica é parte integrante da completa avaliação do sistema construtivo, visando o seu aperfeiçoamento. Foram realizados ensaios em laboratório, segundo a ISO 140, em paredes construídas, em Câmaras Reverberantes, com painéis de 30 e 50 mm de espessura. Resultados: Detectou-se baixa isolação sonora, pois os painéis são finos e apenas encaixados, sem rejunte ou revestimento. Observou-se, no entanto, resultados de  $Rw = 40$  dB, mesmo nas placas menos espessas, a partir da colocação de rejunte e de um revestimento de madeira internamente na edificação, conforme tem sido usual entre os moradores. Constatou-se, ainda, um acentuado decréscimo da performance da parede, a partir da instalação de uma janela de correr. Contribuições/Originalidade: Sabe-se que o custo constitui um dos itens prioritários para viabilidade do programa. Observou-se, porém, que medidas simples e de baixo custo, como o uso de argamassa de vedação entre as placas e junto aos pilares de concreto da estrutura, quando adotadas, melhoraram consideravelmente o isolamento acústico do conjunto.

Palavras-chave: isolamento acústico; habitação popular; avaliação acústica.

### **ABSTRACT**

Propose: This work assesses the acoustic isolation of walls with pre-molded panels built by hand of prison work and with recycled material (rubber of tires). This constructive system has been used almost two decades for the popular constructions (collective effort regime). Methods: The acoustic analysis is integral part of the complete evaluation of the constructive system. Laboratory tests were made according to ISO 140 using reverberant chambers to evaluate the built walls with panels of 30 mm and 50 mm of thickness. Findings: The sound insulation showed low values because the panels are thin and just fit without mortar joints. However, it was observed the results of  $Rw = 40$  dB, for the less thick plates, with coating and internal wood in the construction, as it has been usual for the residents. It was verified the low value of sound insulation index of the window, that contributed for an accentuated decrease of the performance of the total constructive system. Originality/value: The cost is the one of the priority items for application of the program. However, simple actions as the use of mortar between the plates and the concrete pillars of the structure increase the acoustic isolation of the system.

Keywords: insulation acoustics; popular habitation; evaluation acoustics

# 1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS

## 1.1 O programa habitacional

O sistema construtivo dá destinação adequada a um material poluente, que leva centenas de anos para se decompor na natureza. Além disso, possibilita a inclusão social, pois emprega mão-de-obra carcerária. Os presos do regime semi-aberto recebem um salário mínimo por mês e reduzem sua pena em 01 dia para cada 03 dias trabalhados. O projeto desse tipo de edificação é inovador, de baixo custo, de execução rápida e fácil, utilizando pneus usados e descartados, tendo sido desenvolvido pelo engenheiro civil Leandro Agostinho Kroth. A iniciativa recebeu o reconhecimento internacional no Japão, em 2005, através do “Prêmio Mundial Energia Global para Sustentabilidade”.

Desde que foi implantado, em 1988, o programa executou 210 casas, com áreas de 40 e 60 m<sup>2</sup>. Os recursos, inicialmente, eram da Prefeitura Municipal de Santa Cruz do Sul/RS. Um convênio com a Caixa Econômica Federal possibilitou, mais tarde, o financiamento do material utilizado na confecção da moradia. Recentemente, houve a autorização para a liberação do Fundo de Garantia por Tempo de Serviço (FGTS) e, também, para o pagamento da mão-de-obra e do terreno.

## 1.2 O sistema construtivo

Os componentes principais do processo construtivo são as placas de fechamento, executadas misturando-se resíduos (raspas) de pneus reciclados, triturados e moídos, com cimento, areia e água. O sistema apresenta semelhanças com o concreto celular e com a argamassa armada. As placas, moldadas em formas metálicas, são utilizadas na execução das paredes, através da montagem de módulos compostos de cinco peças empilhadas entre duas colunas de concreto armado também pré-moldadas, que têm forma de “T”, sendo o conjunto arrematado, pelo lado interno, através de uma guia de madeira parafusada. Os elementos são os seguintes:

- Placas - com 90,6 cm de largura, 53,59 cm de altura e 3,33 cm de espessura (posteriormente a espessura passou para 5cm). As formas recebem óleo queimado como desmoldante.
- Pilares - de concreto armado pré-moldado em formas metálicas têm 12 cm x 12 cm x 270 cm, com quatro tipos de seções. A mão de obra é a mesma dos painéis.
- Guias de madeira - Tábua de pinus, de 15 cm, usadas no travamento das placas, pelo lado interno, e cintamento superior para amarração do conjunto e fixação das tesouras do telhado.
- Telhado - Utilizam-se telhas de fibro-cimento sobre tesouras de madeira aplinada.
- Fundações - Constituídas de alicerce corrido de tijolos maciços para nivelamento, sob vigas baldrame em concreto armado, executadas com formas metálicas.

Apesar de estarem prontas há bastante tempo, as casas não haviam passado pela avaliação de suas condições de conforto. A Fundação de Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Sul (CIENTEC) realizou, em 1999 e 2000, testes somente na fixação das placas nos pilares sob a aplicação de impactos, bem como de estanqueidade à chuva. Desde 2006, um conjunto de testes físico-químicos e estruturais está sendo realizado numa parceria da UFSM, FATEC e UNISC, com o financiamento da FINEP, visando a melhoria do projeto como um todo, por isso foi incluída a avaliação acústica.

## 1.3 O isolamento sonoro

Gerges (2000) enfatiza que é possível definir as características dos materiais ou dispositivos a serem utilizados num isolamento específico, a partir do conhecimento de grandezas, como a Perda de Transmissão (PT) ou Índice de Redução Sonora (R). Quando os valores obtidos para R são altos, significa a existência de uma baixa transmissão da energia acústica, resultando um alto isolamento. Alta transmissão resulta valores baixos de R, indicando um baixo isolamento.

Matematicamente, a Perda de Transmissão é determinada pela Equação 1, a partir da relação  $\alpha_t = (\text{energia transmitida}) / (\text{energia incidente})$ , onde  $\alpha_t$  é o Coeficiente de Transmissão Sonora.

$$PT = 10 \log\left(\frac{1}{\alpha_t}\right)$$

Equação 1

Ao investigar o desempenho acústico dos elementos construtivos que compõem a fachada dos imóveis, Rechia (2001) constatou o baixo índice de isolamento das esquadrias regionais no Rio Grande do Sul. Verificou que independente do material utilizado na fabricação das mesmas, o Índice de Redução Sonora apresentado por esquadrias do tipo *de correr* ficou em torno de apenas 20 dB.

## 2 OBJETIVOS E METODOLOGIA

O presente trabalho avalia a isolação acústica, a ruído aéreo, das paredes desse sistema construtivo utilizado na construção de habitações populares. Mediú-se, em laboratório, o Índice de Redução Sonora ( R ) da parede executada com os painéis pré-moldados, estudando-se a influência da aplicação de argamassa entre os painéis e do revestimento interno das paredes com lambri de madeira. Examinou-se a interferência da inclusão de uma janela na parede ensaiada e quantificou-se a diferença nos índices de isolação decorrentes da alteração de espessura dos painéis. Isso possibilitou um diagnóstico com relação ao isolamento acústico, à qualidade dos componentes e ao sistema construtivo, proporcionando o aperfeiçoamento do conjunto.

As medições foram realizadas observando a ISO 140 / parte III, sendo os ensaios realizados no Setor de Acústica da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), que possui Câmaras Reverberantes para ensaios de transmissibilidade, que atendem as prescrições da parte I da referida norma. As amostras, com  $13,12\text{m}^2$  cada uma, foram construídas entre as Câmaras de Emissão e Recepção, com volumes de 60 e  $67\text{ m}^3$ , respectivamente. Houve a medição dos níveis pressão sonora, ruído de fundo e tempo de reverberação, nas freqüências de 100 Hz a 8000 Hz, utilizando-se: fonte sonora, microfone, analisador para acústica em edificações, calibrador e analisador climático, todos fabricados pela Brüel&Kjaer.

Os componentes do sistema foram montados com a face externa (fachada) da parede para a Câmara de Emissão. Procedeu-se a fixação dos pilares de concreto tipo “T”, colocação dos painéis modulares travados com peças de madeira de pinus, parafusadas nos pilares pelo lado interno (Câmara de Recepção), seguindo as orientações executivas específicas do projeto.

## 3 MEDIÇÕES E ANÁLISE DE RESULTADOS

Uma parede foi testada, inicialmente, no seu sistema construtivo usual, ou seja, painéis apenas encaixados entre si e nos pilares. Em seqüência, optou-se por testes com uma vedação temporária de fita crepe, verificando as deficiências decorrentes das frestas ocasionadas pela ausência de argamassa entre as placas e nas junções com os pilares. A seguir, os painéis foram retirados, colocando-se argamassa entre eles e, também, na junta com os pilares. Posteriormente, avaliou-se a parede com um revestimento interno de madeira, utilizando as guias já existentes para o fechamento original do sistema, solução que tem sido empregada pelos usuários. Finalmente, houve a inclusão de uma janela.

Foram realizados dez ensaios seqüenciais com painéis de 30 mm e 50 mm. Para cada um dos ensaios foram feitas três medições repetidas, sendo o resultado final uma média aritmética, assegurando a repetibilidade dos resultados. Para atender a norma ISO 140, cada medição subdividiu-se em seis, pois houve a modificação da posição do microfone, alternado ortogonalmente, três vezes, tanto na Câmara de Emissão como na de Recepção. O índice de isolação resultante é o valor médio calculado entre aqueles medidos em cada posição do microfone.

Os resultados são apresentados a seguir, na seqüência em que foram realizados e segundo a Norma ISO 140 - parte III, onde são mostrados: o Índice de Redução Sonora ( R ) e o  $R_w$ , decorrente da aplicação da curva padrão oriunda da ISO 717, constante em anexo na ISO 140.

As Figuras 1, 2 e 3 mostram a parede construída nas Câmaras Reverberantes do Setor de Acústica da UFSM . A Figura 1 apresenta o sistema original, com painéis simplesmente encaixados, sem rejunte, travados pelo lado interno, através de guias de madeira.

Na Figura 2 visualizam-se os painéis vedados com fita crepe pelo lado da Câmara de Emissão e, na outra imagem, a parede já com argamassa entre as placas e recebendo – na Câmara de Recepção - o revestimento de madeira de pinus.

A Figura 3 mostra a parede completa (painéis argamassados e rejuntados, com revestimento em lambri de pinus, apresentando uma janela de madeira, com vidro e veneziana), observada pelo lado da Câmara de Emissão e pelo lado da Câmara de Recepção.



**Figura 1:** Parede executada com painéis simplesmente encaixados.  
À esquerda está a Câmara de Emissão e à direita, a Câmara de Recepção.



**Figura 2:** Parede vedada com fita crepe, vista da Câmara de Emissão e, construída com argamassa.  
Revestimento de madeira na Câmara de Recepção.



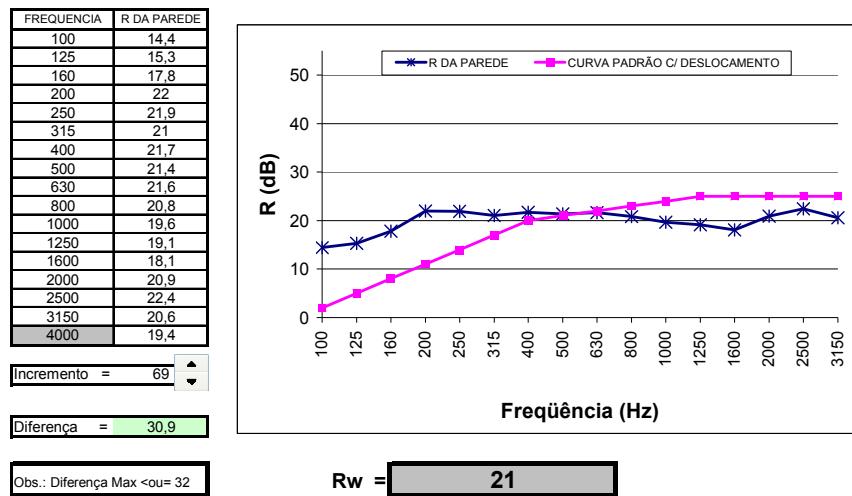
**Figura 3:** Parede argamassada, com janela, vista pelo lado da Câmara de Emissão e  
revestida em lambri de pinus na Câmara de Recepção.

### 3.1 Ensaios com painéis de 30 mm de espessura

#### 3.1.1 Ensaio 1

Os resultados mostrados no Gráfico 1 se referem a:

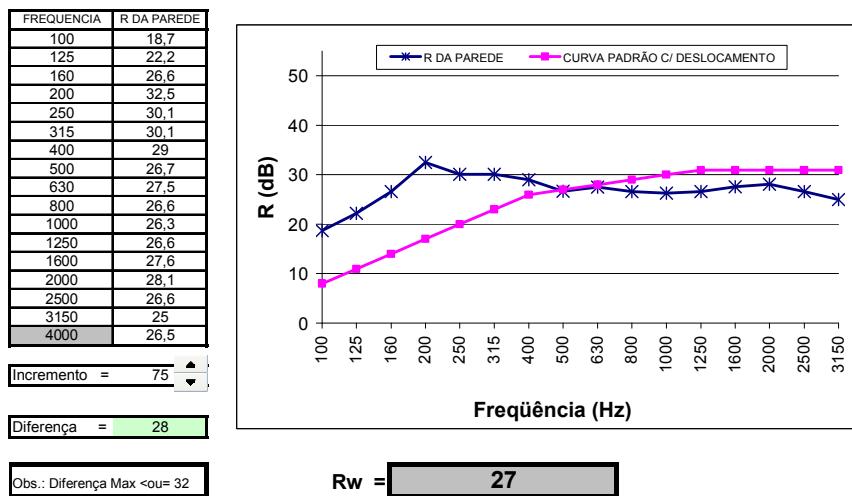
- Amostra: parede simples, com painéis apenas encaixados.
- Área da amostra: 13,12 m<sup>2</sup>; c) Massa total do conjunto: 40 kg/m<sup>2</sup>; d) Resultado:  $R_w = 21,0$  dB



**Gráfico 1:** Ensaio da parede simples, com painéis apenas encaixados.

### 3.1.2 Ensaio 2

O Gráfico 2 mostra os resultados referentes a uma amostra semelhante a empregada no Ensaio 1, com a vedação externa das juntas ( com fita crepe).  
Resultado:  $Rw= 27,0 \text{ dB}$



**Gráfico 2:** Ensaio com vedação das juntas pelo lado externo através de fita crepe.

### 3.1.3 Ensaio 3

O Gráfico 3 mostra o resultado decorrente de:

- a) Amostra: parede simples com painéis assentados e rejuntados com argamassa de traço 1:2:6.
- b) Área da amostra: 13,12 m<sup>2</sup> ; c) Massa total do conjunto: 45 kg/m<sup>2</sup>; d) Resultado:  $Rw= 36,0 \text{ dB}$

### 3.1.4 Ensaio 4

Os resultados apresentados no Gráfico 4 são devidos a:

- a) Amostra: mesma do Ensaio 3, com revestimento em lambris de pinus pelo lado interno
- b) Área da amostra: 13,12 m<sup>2</sup>; c) Massa total do conjunto: 50 kg/m<sup>2</sup>; d) Resultado:  $Rw= 40,0 \text{ dB}$

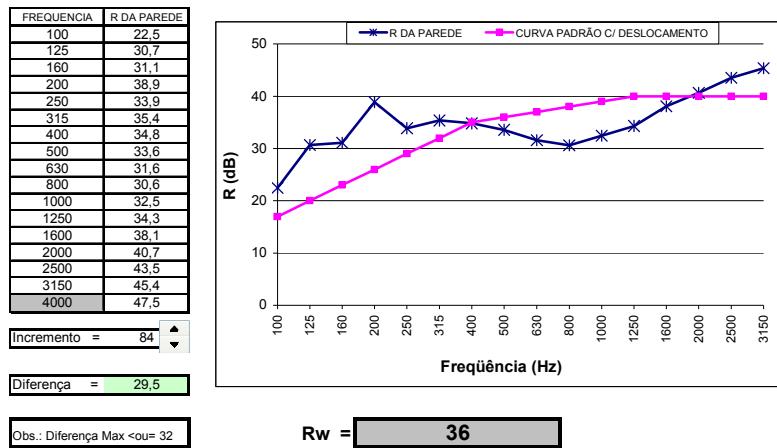


Gráfico 3: Ensaio com painéis argamassados e rejuntados.

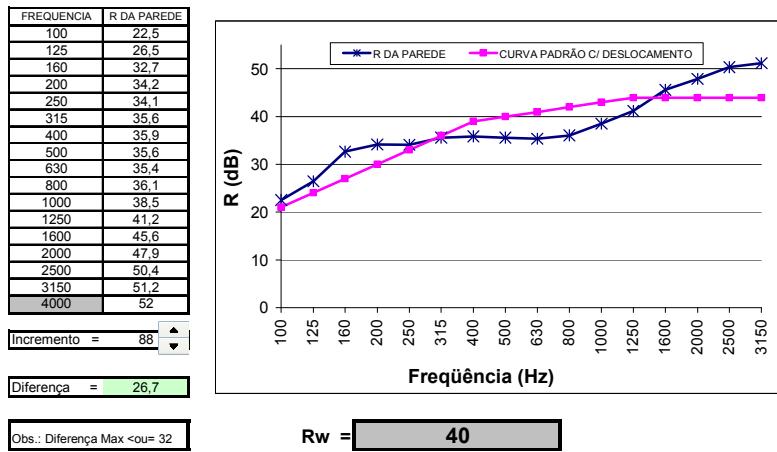


Gráfico 4: Ensaio com painéis argamassados, rejuntados e com revestimento interno de lambris de madeira.

### 3.1.5 Ensaio 5

Os resultados apresentados no Gráfico 5 são devidos a:

- Amostra: idem ao Ensaio 4, com inserção de uma janela de 90x105 cm com vidro e veneziana
- Área da amostra: 13,12 m<sup>2</sup>; c) Massa total do conjunto: 45 kg/m<sup>2</sup>; d) Resultado: Rw= 26,0 dB

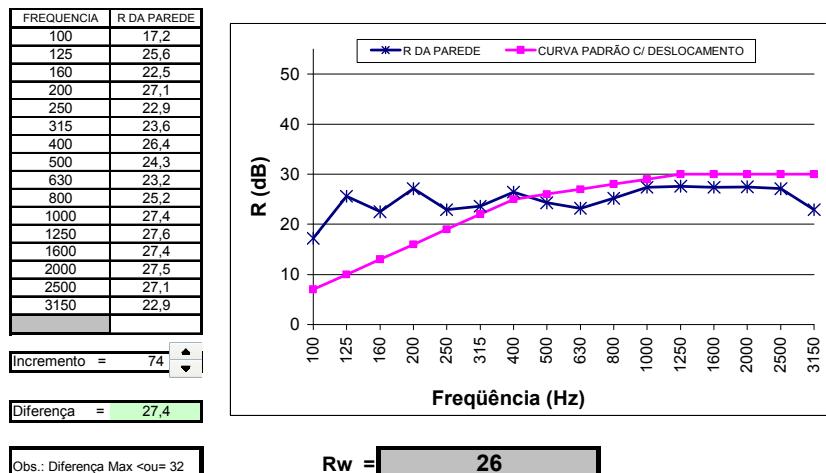


Gráfico 5- Ensaio da parede com inserção de janela.

### 3.1.6 Análise dos resultados dos ensaios E1 a E5

Os resultados dos ensaios demonstraram a deficiência da isolação sonora do sistema construtivo com relação à estanqueidade ao ar, uma vez que a simples vedação das juntas dos painéis, com fita crepe, proporcionou um ganho de 6,0 dB, conforme demonstrado no comparativo entre os Ensaios E1 (painéis só encaixados) e E2 (painéis vedados).

O aumento do isolamento torna-se mais significativo a partir da completa vedação e estanqueidade do conjunto, pela utilização de painéis rejuntados e argamassados (Ensaio E3). Observa-se que houve um ganho na isolação de 15 dB, em relação à situação original (Ensaio E1).

A adoção do revestimento interno com lambris de pinus (Ensaio E4) melhorou o isolamento, adicionando um ganho de 4 dB com relação ao Ensaio E3, porém, a simples colocação de uma janela (Ensaio E5), comprometeu novamente o isolamento do conjunto.

No Gráfico 6, é apresentado um comparativo entre os cinco ensaios, onde ficam bem definidos os níveis de isolamento sonoro nas diversas situações ensaiadas.

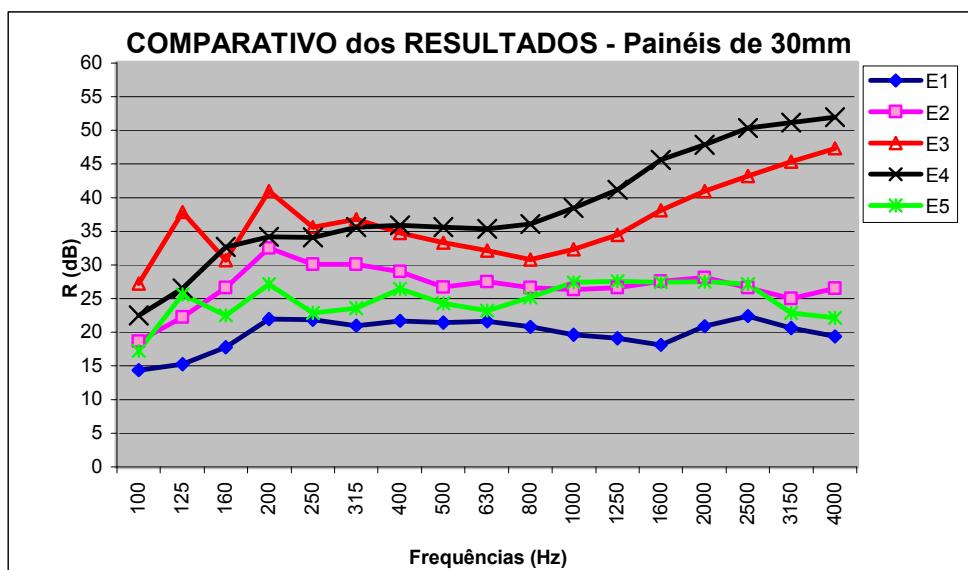


Gráfico 6 –Comparativo entre os ensaios E1 até E5.

## 3.2 Ensaios com painéis de 50 mm de espessura

Os ensaios realizados com os painéis mais espessos geraram gráficos semelhantes aos mostrados na seção anterior. A Tabela 1 apresenta um resumo dos resultados obtidos.

Tabela 1 – Resumo dos resultados dos ensaios para painéis de 50 mm

Ensaios	Característica da amostra Espessura 50 mm	Massa Kg/m <sup>2</sup>	Rw dB
6	parede simples, com painéis apenas encaixados	52	22
7	parede simples, com painéis apenas encaixados, com a vedação externa das juntas dos painéis e deles com os pilares, através de fita crepe	52	26
8	parede com painéis assentados e rejuntados com argamassa de cimento, cal e areia, com traço 1: 2 : 6	55	40
9	mesma do Ensaio 8, com revestimento em lambris de pinus pelo lado interno	60	40
10	mesma do Ensaio 9, com uma janela de 90 x 105 cm com vidro e veneziana	60	26

### 3.2.1 Análise dos resultados dos ensaios E6 a E10

A similaridade entre os resultados obtidos com as duas espessuras estudadas demonstrou a deficiência da isolamento sonora devida à falta de estanqueidade ao ar. O Gráfico 7 apresenta um comparativo entre os cinco ensaios executados com os painéis de 50 mm, onde ficam bem definidos os níveis de isolamento sonoro nas diversas situações ensaiadas: E6 (painéis somente encaixados), E7 (painéis vedados com fita), E8 (painéis argamassados), E9 (painéis argamassados e com lambri) e E10 (painéis argamassados e com a janela).

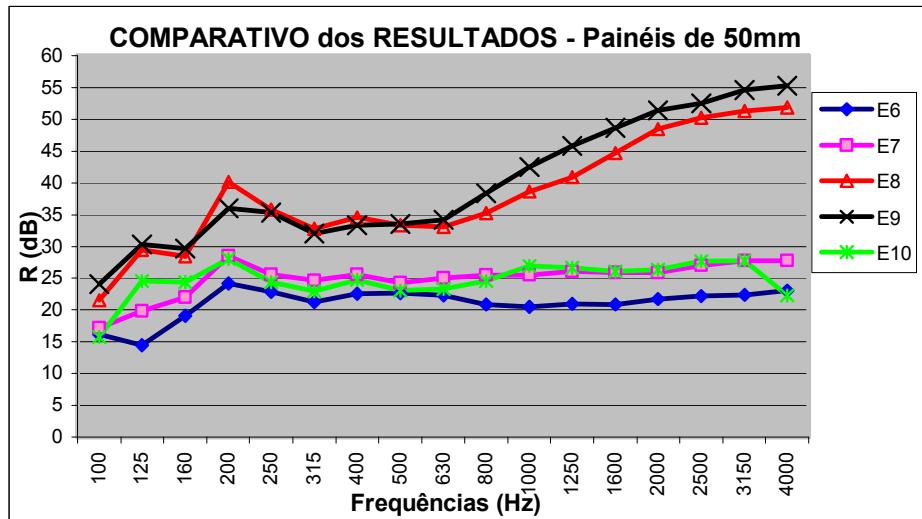


Gráfico 7 – Gráfico comparativo entre os ensaios E6 a E10

### 3.3 Análise comparativa entre os painéis de 30 e 50mm

A observação dos resultados obtidos em todos os ensaios permite verificar que houve pouca influência da mudança na espessura dos painéis. O Gráfico 8 mostra os ensaios E1 (30mm) e E6 (50mm), referentes a uma parede executada com painéis simplesmente encaixados.

Quando os painéis recebem argamassa e rejunte na execução da parede, há uma diferença mais significativa entre as duas espessuras testadas, em especial nas freqüências acima de 630 Hz. Menores comprimentos de onda apresentam mais facilidade para atravessar frestas, mas grande dificuldade para transpor superfícies espessas. O Gráfico 9 mostra o comparativo entre os ensaios E3 e E8, relativos às paredes executadas com painéis argamassados e rejuntados, de 30 e 50 mm, respectivamente.

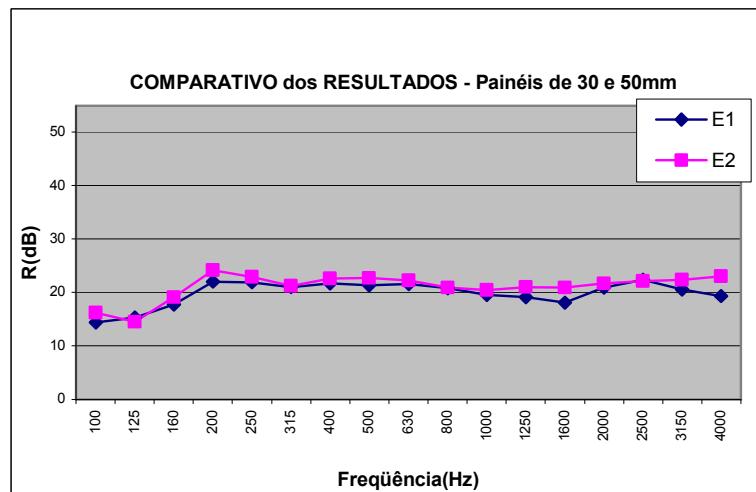


Gráfico 8 – painéis de 30 e 50 mm, simplesmente encaixadas.

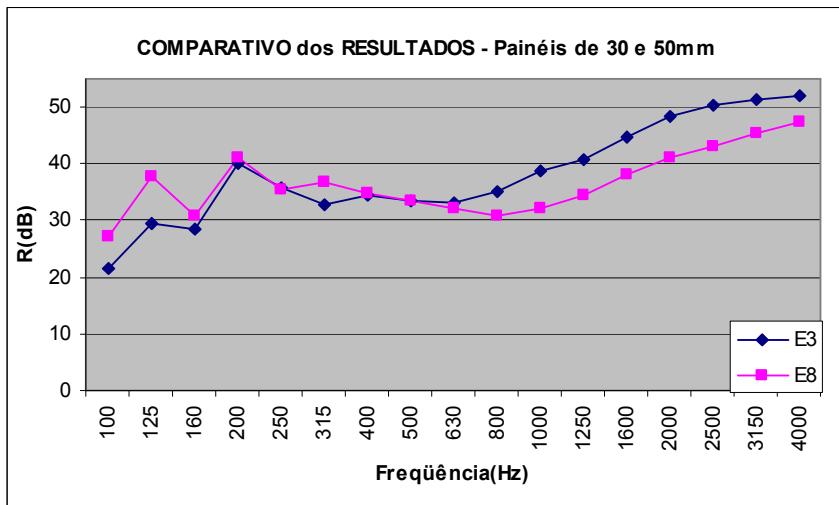


Gráfico 9 – painéis de 30 e 50 mm, argamassados e rejuntados.

A presença da janela influencia negativamente a isolamento sonora das paredes, independentemente da espessura dos painéis. O Gráfico 10 mostra o comparativo entre os ensaios E5 e E10, referentes às paredes executadas com painéis argamassados, rejuntados, revestidos com lambri e com a inserção de uma janela de madeira, respectivamente para painéis de 30 e 50 mm.

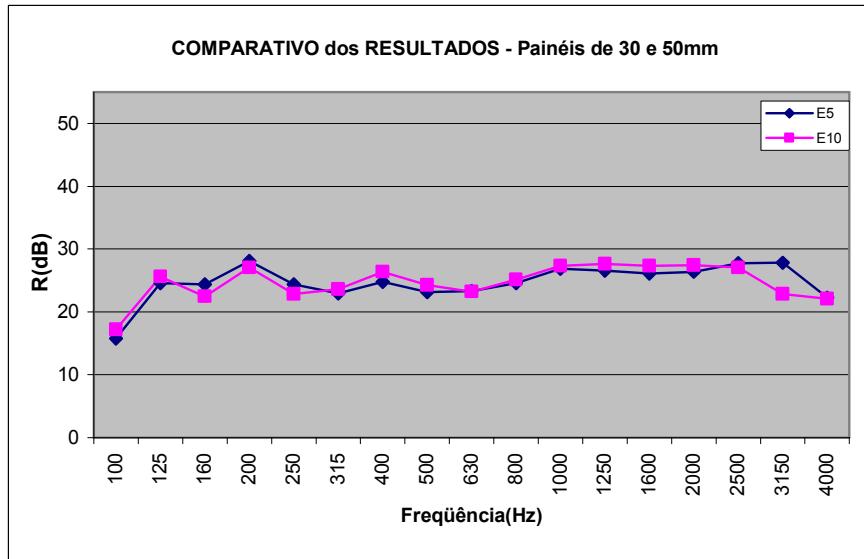


Gráfico 10 – painéis de 30 e 50 mm, argamassados, rejuntados, revestidos com lambri e com janela.

#### 4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A série dos ensaios realizados no Setor de Acústica da UFSM permitiu avaliar a performance acústica dos painéis componentes desse sistema construtivo alternativo, que está sendo aplicado, com sucesso, há quase duas décadas.

A proposta de alteração da espessura é decorrente da necessidade resultante dos estudos sobre a resistência ao choque nas paredes, que é um dos ensaios que constituem a análise global do sistema construtivo como um todo. Especificamente quanto ao desempenho acústico, os resultados obtidos permitem constatar que:

- Os painéis apresentam uma ótima isolamento sonora, tendo em vista sua pequena espessura, desde que haja assentamento e rejuntamento com argamassa, para eliminação de frestas;
- O ganho na isolamento sonora com o aumento da espessura das placas não é significativo a ponto de justificar a relação custo x benefício;
- A introdução do revestimento de lambris de madeira – que foi uma iniciativa dos usuários das edificações - contribui, significativamente, para o isolamento acústico do conjunto;
- A inserção de janelas convencionais reduz consideravelmente a eficiência acústica do conjunto, tendo em vista a pequena estanqueidade das esquadrias do tipo *de correr*.

O resultado final da avaliação acústica mostrou que o sistema, além de econômico e ecologicamente correto, possui características de isolamento satisfatórias, principalmente quando são adicionados a argamassa entre os painéis e o revestimento interno de madeira.

Conclui-se, portanto, que o sistema construtivo habitacional, em análise, atinge seus objetivos na busca da melhoria da qualidade de vida da população de baixa renda, através de um trabalho com inclusão social (ocupação, remuneração e redução da pena dos presidiários) e preservação ambiental, constituindo-se num projeto integrado ao desenvolvimento sustentável.

## 5 REFERÊNCIAS

- GERGES, S. N. Y. Ruído – **Fundamentos e Controle**. Florianópolis: NR Editora 2<sup>a</sup> Ed. Revista e Ampliada, 2000, 675p.
- INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION - **ISO 140** - Acoustics – Measurements of sound insulation in buildings and of buildings elements. Part 3, 1995.
- KROTH, L.A. **Projeto Bom-Plac**. 2003. 121f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria.
- PAIXÃO, D. X. da. **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, UFSC, Florianópolis.
- RECCHIA, C.A. **Estudo de desempenho acústico dos elementos construtivos que compõem a fachada**. 2001. 131 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria.
- SILVA, D.T. **Estudo da Isolação Sonora em Paredes e Divisórias de diversas Naturezas**. 2000. 119f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil)-Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria.

## 6 AGRADECIMENTOS

Aos Professores José Mário Doleys Soares (UFSM) e Marcus Daniel F. dos Santos (UNISC), coordenadores do Projeto FINEP / FATEC / Prefeitura de Santa Cruz do Sul - Conv. 01.04.0424.00, denominado *Aprimoramento Tecnológico de Habitações Populares Construídas com Materiais Alternativos*, pela disponibilização do material ensaiado; ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil e ao funcionário do Setor de Acústica/UFSM Juraci José Bortoluzzi.