



UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA
CENTRO DE TECNOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ARQUITETURA E URBANISMO

**AVALIAÇÃO DE PLACAS CIMENTÍCIAS COM RESÍDUO DE EVA QUANTO
AO SEU NÍVEL DE ISOLAMENTO ACÚSTICO EM SISTEMAS DE PISOS
FLUTUANTES.**

Fabianne Azevedo dos Santos

João Pessoa – Paraíba
Novembro - 2013



UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA
CENTRO DE TECNOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ARQUITETURA E URBANISMO

**AVALIAÇÃO DE PLACAS CIMENTÍCIAS COM RESÍDUO DE EVA QUANTO
AO SEU NÍVEL DE ISOLAMENTO ACÚSTICO EM SISTEMAS DE PISOS
FLUTUANTES.**

Dissertação de mestrado apresentada a Universidade Federal da Paraíba para a obtenção do título de mestre em Arquitetura e Urbanismo, área de concentração Tecnologia da Arquitetura e Urbanismo, linha de pesquisa Tecnologias e Materiais da Arquitetura, sob a orientação do Professor Dr. Aluísio Braz de Melo.

Fabianne Azevedo dos Santos

João Pessoa – Paraíba
Novembro - 2013

S237a Santos, Fabianne Azevedo dos.
Avaliação de placas cimentícias com resíduo de EVA
quanto ao seu nível de isolamento acústico em sistemas de
pisos flutuantes / Fabianne Azevedo dos Santos.-- João
Pessoa, 2013.
129f. : il.
Orientador: Aluísio Braz de Melo
Dissertação (Mestrado) - UFPB/CT
1. Arquitetura e urbanismo. 2. Resíduos EVA. 3. Placas
cimentícias. 4. Ruído de impacto. 5. Piso flutuante.

UFPB/BC

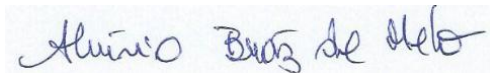
CDU: 72+711(043)

**AVALIAÇÃO DE PLACAS CIMENTÍCIAS COM RESÍDUO DE EVA
QUANTO AO SEU NÍVEL DE ISOLAMENTO ACÚSTICO EM SISTEMAS DE
PISOS FLUTUANTES.**

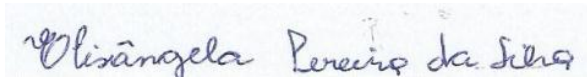
Por

Fabianne Azevedo dos Santos

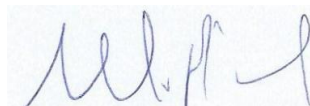
Dissertação aprovada em 22 de Novembro de 2013



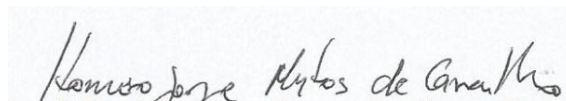
Professor Dr. Aluísio Braz de Melo – UFPB
Orientador



Professora Dr.^a Elisângela Pereira da Silva – UFPB
Co-Orientadora



Professor Dr. Roberto Leal Pimentel – UFPB
Examinador Interno



Professor Dr. Homero Jorge Matos de Carvalho – IFPB
Examinador Externo

João Pessoa – PB
2013

AGRADECIMENTOS:

Em primeiro lugar gostaria de agradecer a Deus a oportunidade de cursar o Mestrado em Arquitetura e Urbanismo da UFPB. Agradecer aos meus pais e à minha irmã o apoio de sempre e aos meus familiares e amigos a torcida.

Este trabalho não seria possível sem a crítica e orientação do Professor Dr. Aluísio Braz de Melo a quem expresseo o meu sincero agradecimento e admiração. Estendo também os agradecimentos a todos os professores, colegas e funcionários do LABEME-CT-UFPB, que me ajudaram na resolução de diversas questões durante a pesquisa, especialmente ao Professor Dr. Roberto Leal Pimentel que cedeu os equipamentos para a realização dos ensaios e também esclareceu dúvidas acerca do tema.

Agradeço também à Professora Dra. Elisângela Pereira de Silva pelo acompanhamento nos procedimentos e pelas palavras de incentivo. Aos Professores Doutores Ulisses Targino Bezerra e Antônio Farias Leal pela disponibilização de materiais para a pesquisa e ao Professor Doutor Homero Jorge por ter aceitado o convite para fazer parte da banca examinadora e a sua contribuição dada através de suas correções.

Finalmente, à Universidade Federal da Paraíba, em particular, ao Programa de Pós Graduação em Arquitetura e Urbanismo, pelos meios disponibilizados para o desenvolvimento e conclusão do meu trabalho, o meu muito obrigada.

Avaliação de placas cimentícias com resíduo de EVA quanto ao seu nível de isolamento acústico em sistemas de pisos flutuantes.

RESUMO

A destinação final para os resíduos de polímeros de EVA (Etileno Acetato de Vinila) descartados pelas indústrias calçadistas tem sido reconhecida como um problema crescente de impacto no meio ambiente. Contudo, estudos têm comprovado que esses resíduos possuem características adequadas para propósitos de reciclagem transformando-os em agregados leves, que podem trazer benefícios ao ambiente construído, como por exemplo, o seu aproveitamento visando atenuação de problemas de ruídos de impactos nos pisos, que são muito comuns nas edificações multipavimentos. Portanto, essa pesquisa tem como objetivo avaliar o desempenho acústico de placas cimentícias, executadas com agregados de resíduos de EVA (placas de EVA), aplicadas como material resiliente na composição de sistemas de piso flutuante. Nesse estudo foram desenvolvidas três placas de EVA com espessura e geometrias diferentes, sendo uma delas com todas as superfícies planas (EVA_ar0) e outras duas com uma das superfícies com baixo relevo (EVA_ar1 e EVA_ar2,5), de modo a resultar uma camada de ar entre tais placas e a laje. As placas foram avaliadas quanto a capacidade de isolamento acústico, seguindo as diretrizes das normas ISO 140-7:1998 e ISO 717-2:2013, procurando comparar seu desempenho com alguns materiais disponíveis no mercado para uso em pisos flutuantes, como por exemplo, manta acústica de polietileno e lã de rocha. A avaliação do nível de isolamento acústico para atenuar os ruídos de impacto foi realizada em protótipo no Laboratório de Ensaio de Materiais e Estruturas da Universidade Federal da Paraíba, simulando uma situação entre dois pavimentos sobrepostos. Com base nos resultados pode-se afirmar que as placas de EVA, de acordo com seu desempenho alcançado, tem potencial para se classificar como um material alternativo utilizado para atenuação de ruído de impacto entre os pisos de edificações multi pavimento. O sistema de piso flutuante composto com a placa de EVA_ar2,5 (com camada de ar de 2,5 cm) obteve número global ($L'_{nT,w}$) igual a 64 dB, enquadrado com nível de desempenho intermediário (I) melhor do que os desempenhos dos outros sistemas com as placas do EVA_ar0 (sem camada de ar) e EVA_ar1 (com camada de ar de 1 cm) obtiveram número globais 67 e 66 dB respectivamente se classificando com desempenho mínimo (M), segundo a NBR 15.575-3:2013.

Palavras-chave: resíduos EVA; placas cimentícias; ruído de impacto; piso flutuante.

Evaluation of cement boards with EVA waste regarding their level of acoustic insulation as part of floating floor systems.

ABSTRACT

The final destination for waste polymers EVA (Ethylene Vinyl Acetate) discarded by footwear industries has been recognized as a increasing problem of impact on the environment. However, studies have show that these residues have characteristics suitable for recycling purposes transforming them into lightweight aggregates, which may provide benefits to the environment for example, their use to attenuate effects of noise impacts problems on the floors, which are very common in multi floor buildings. This research aims to evaluate the acoustic performance of cement boards, consisting of waste aggregates EVA (EVA boards), applied as a resilient material in the composition of floating floor. In this study three types of EVA boards were developed with different thickness and geometries, one of which has whole flat surface (EVA_ar0) and the other with a low relief surfaces (EVA_ar1 and EVA_ar2,5), to yield a layer of air between these boards and the slab. The plates were evaluated for the ability to soundproofing, following the guidelines of ISO 140-7:1998 and ISO 717-2:2013, seeking to compare their performance with some materials available for use in floating floors, for example, polyethylene acoustic blanket and rock wool. The assessment of the level of sound insulation to mitigate the noise impact was performed in a Testing Laboratory of Materials and Structures, Federal University of Paraiba, simulating a situation between two adjacent floors. Based on the results it can be stated that the boards EVA, according to their performance achieved, has the potential to rank as an alternative material used for mitigation of impact noise between floors of multi floor buildings. The floating floor system composed with the board EVA_ar2 , 5 (with air 2.5 cm layer) had global number ($L'_{nT,w}$) equal to 64 dB, framed with better intermediate level of performance (I) the that the performance of other systems with boards EVA_ar0 (without air layer) and EVA_ar1 (with air 1 cm layer) obtained global number 67 and 66 dB respectively classifying performance with minimal (M), according to NBR 15.575-3:2013.

Keywords: EVA waste; cement boards; impact noise; floating floor.

LISTA DE FIGURAS

Figura 01 –	Resíduo gerado em forma de aparas de sandálias e em pó.....	07
Figura 02 –	Esquema do comprimento de onda sonora (λ).....	10
Figura 03 –	Forro de gesso abaixo da laje nervurada.....	14
Figura 04 –	Vibrações propagadas pelas estruturas (parede e laje).....	15
Figura 05 –	Esquema de piso flutuante.....	17
Figura 06 –	Equivalente mecânico de um piso flutuante.....	17
Figura 07 –	Esquema da disposição das câmaras de emissão e recepção.....	20
Figura 08 –	Solução piso flutuante sobre laje maciça.....	21
Figura 09 –	Sistema de pavimento flutuante.....	23
Figura 10 –	Imagem da configuração de medição para o teste de compressão	25
Figura 11 –	Painéis ACUSTILÁSTIC-N e seu esquema de montagem.....	27
Figura 12 –	Dados referentes a isolamento do ruído de impacto.....	27
Figura 13 –	Exemplo de um painel DISTESO RADIANTE.....	28
Figura 14 –	Manta natural para redução de ruído de impacto.....	28
Figura 15 –	Manta acústica IMPACTSOFT.....	29
Figura 16 –	Dados do piso ecológico IMPACTSOFT da AUBICON.....	29
Figura 17 –	EVA inteiriço.....	31
Figura 18 –	Nível de Ruído de Impacto com acabamento em madeira e em cerâmica.....	32
Figura 19 –	Resultados do ensaio da amostra EVA granulado, aglomerado com cimento e coeficiente de absorção sonora.....	33
Figura 20 –	Nível de ruído de impacto ponderado padronizado das amostras.....	35
Figura 21 –	Resíduos de EVA coletados em forma de retalhos.....	36
Figura 22 –	Moinho de facas rotativas e agregados de EVA com diâmetro máximo característico igual a 4,8 mm.....	37
Figura 23 –	Desenhos esquemáticos das fôrmas.....	38
Figura 24 –	Fôrmas prontas.....	39
Figura 25 –	Desenho das placas.....	39
Figura 26 –	Cubo impermeabilizado com parafina.....	41
Figura 27 –	Mesa vibratória e prensa hidráulica.....	42
Figura 28 –	Placas cimentícias.....	42
Figura 29 –	Câmara úmida e tanque.....	43
Figura 30 –	Placa EVA_ar0 - base de superfície plana	43
Figura 31 –	Placa EVA_ar1 - base com relevo e bolsões de ar de 1 cm de altura	43
Figura 32 –	Placa EVA_ar2,5 – base com relevo e com bolsões de ar de 2,5 cm	44
Figura 33 –	Esquema do sistema REF. com o desenho da máquina de impacto apoiada sobre ele.....	44
Figura 34 –	Reforma e ampliação do protótipo para construir a câmara acústica.....	46
Figura 35 –	Plantas baixas e Cortes esquemáticos da câmara de emissão e de recepção do ruído de impacto	47
Figura 36 –	Detalhe das vedações nas esquadrias	48
Figura 37 –	Quatro posições da máquina de impacto sob as amostras.....	49
Figura 38 –	Máquina de impacto tipo 3207 da marca Bruel Kja&r.....	50
Figura 39 –	Quatro posições do microfone.....	50
Figura 40 –	Analizador Acústico Tipo 2270 da marca Brüel & Kjær.....	50
Figura 41 –	Três posições do microfone na câmara de recepção.....	51
Figura 42 –	Equipamentos da marca Brüel & Kjær utilizados no ensaio do Tempo de Reverberação.....	52
Figura 43 –	Confrontação da curva padrão e da curva do ensaio da amostra REF.....	55
Figura 44 –	Níveis de pressão sonora padronizados (L'_{nT}) de todos os sistemas no ensaio do ruído de impacto	60
Figura 45 –	Níveis de pressão sonora padronizados (L'_{nT}) dos sistemas: REF, LR e MA ..	61
Figura 46 –	Níveis de pressão sonora padronizados (L'_{nT}) dos sistemas: EVA_ar0, EVA_ar1 e EVA_ar0+d	62
Figura 47 –	Níveis de pressão sonora padronizados (L'_{nT}) dos sistemas: REF., EVA_ar0, EVA_ar1, EVA_ar2,5 e EVA_ar0+d	62

Figura 48 –	Níveis de pressão sonora padronizados (L'_{nT}) dos sistemas: REF., LR e EVA_ar2,5	63
Figura 49 –	Comparação entre os pisos flutuantes quanto ao nível de pressão sonora de impacto padronizado ($L'_{nT,w}$)	67
Figura 50 –	Comparação entre os sistemas de pisos flutuantes quanto ao nível de isolamento	67
Figura 51 –	Desempenho dos materiais resilientes usados nos sistemas de piso flutuante, em função da densidade.....	68
Figura 52 –	Comparação entre materiais resilientes usados nos sistemas de piso flutuante, considerando as espessuras diferentes.....	69
Figura 53 –	Comparação entre a curva padrão e o resultado para a amostra REF.....	117
Figura 54 –	Comparação entre a curva padrão e o resultado para a amostra LR.....	119
Figura 55 –	Comparação entre a curva padrão e o resultado para a amostra MA.....	121
Figura 56 –	Comparação entre a curva padrão e o resultado para a amostra 4 (EVA_ar0).....	123
Figura 57 –	Comparação entre a curva padrão e o resultado para a amostra 5 (EVA_ar1)	125
Figura 58 –	Comparação entre a curva padrão e o resultado para a amostra 6 (EVA_ar2,5)	127
Figura 59 -	Comparação entre a curva padrão e o resultado para a amostra 7 (EVA_ar0+d)	129

LISTA DE TABELAS

Tabela 01 –	Parâmetros acústicos de avaliação.....	18
Tabela 02 –	Critério e nível de pressão sonora de impacto padronizado $L'_{nT,w}$	19
Tabela 03 –	Critério e nível de pressão sonora de impacto padronizado ponderado, $L'_{nT,w}$.	19
Tabela 04 –	Exemplos de produtos analisados.....	21
Tabela 05 –	Especificações de cada sistema de piso flutuante.....	45
Tabela 06 –	Valores de referência para ruído de impacto.....	53
Tabela 07 –	Níveis de ruído de impacto padronizado para a amostra REF.....	54
Tabela 08 –	Resultados das médias dos níveis de ruído de impacto para os sistemas.....	57
Tabela 09 –	Tempos de reverberação da câmara de recepção.....	58
Tabela 10 –	Níveis de pressões sonoras padronizadas dos sistemas no ensaio do ruído de impacto.....	59
Tabela 11 –	Número global das amostras ($L'_{nT,w}$).....	64
Tabela 12 –	Outros resultados comparáveis.....	66
Tabela 13 –	Níveis de ruído de impacto (L_i) da amostra REF.....	77
Tabela 14 –	Níveis de ruído de impacto (L_i) da amostra REF.....	78
Tabela 15 –	Níveis de ruído de impacto (L_i) da amostra REF.....	79
Tabela 16 –	Níveis de ruído de impacto (L_i) da amostra REF.....	80
Tabela 17 –	Níveis de ruído de impacto (L_i) da amostra REF.....	81
Tabela 18 –	Níveis de ruído de impacto (L_i) da amostra LR.....	82
Tabela 19 –	Níveis de ruído de impacto (L_i) da amostra 2.....	83
Tabela 20 –	Níveis de ruído de impacto (L_i) da amostra 2.....	84
Tabela 21 –	Níveis de ruído de impacto (L_i) da amostra 2.....	85
Tabela 22 –	Níveis de ruído de impacto (L_i) da amostra LR.....	86
Tabela 23 –	Níveis de ruído de impacto (L_i) da amostra MA.....	87
Tabela 24 –	Níveis de ruído de impacto (L_i) da amostra MA.....	88
Tabela 25 –	Níveis de ruído de impacto (L_i) da amostra MA.....	89
Tabela 26 –	Níveis de ruído de impacto (L_i) da amostra MA.....	90
Tabela 27 –	Níveis de ruído de impacto (L_i) da amostra MA.....	91
Tabela 28 –	Níveis de ruído de impacto (L_i) da amostra EVA_ar0.....	92
Tabela 29 –	Níveis de ruído de impacto (L_i) da amostra EVA_ar0.....	93
Tabela 30 –	Níveis de ruído de impacto (L_i) da amostra EVA_ar0.....	94
Tabela 31 –	Níveis de ruído de impacto (L_i) da amostra EVA_ar0.....	95
Tabela 32 –	Níveis de ruído de impacto (L_i) da amostra EVA_ar0.....	96
Tabela 33 –	Níveis de ruído de impacto (L_i) da amostra EVA_ar1.....	97
Tabela 34 –	Níveis de ruído de impacto (L_i) da amostra EVA_ar1.....	98
Tabela 35 –	Níveis de ruído de impacto (L_i) da amostra EVA_ar1.....	99
Tabela 36 –	Níveis de ruído de impacto (L_i) da amostra EVA_ar1.....	100
Tabela 37 –	Níveis de ruído de impacto (L_i) da amostra EVA_ar1.....	101
Tabela 38 –	Níveis de ruído de impacto (L_i) da amostra EVA_ar2,5.....	102
Tabela 39 –	Níveis de ruído de impacto (L_i) da amostra EVA_ar2,5.....	103
Tabela 40 –	Níveis de ruído de impacto (L_i) da amostra EVA_ar2,5.....	104
Tabela 41 –	Níveis de ruído de impacto (L_i) da amostra EVA_ar2,5.....	105
Tabela 42 –	Níveis de ruído de impacto (L_i) da amostra EVA_ar2,5.....	106
Tabela 43 –	Níveis de ruído de impacto (L_i) da amostra EVA_ar0+d.....	107
Tabela 44 –	Níveis de ruído de impacto (L_i) da amostra EVA_ar0+d.....	108
Tabela 45 –	Níveis de ruído de impacto (L_i) da amostra EVA_ar0+d.....	109
Tabela 46 –	Níveis de ruído de impacto (L_i) da amostra EVA_ar0+d.....	110
Tabela 47 –	Níveis de ruído de impacto (L_i) da amostra EVA_ar0+d.....	111
Tabela 48 –	Tempo de reverberação.....	112
Tabela 49 –	Tempo de reverberação.....	113
Tabela 50 –	Tempo de reverberação.....	114
Tabela 51 –	Tempo de reverberação.....	115
Tabela 52 –	Número global ($L'_{nT,w}$) da amostra REF.....	116
Tabela 53 –	Número global ($L'_{nT,w}$) da amostra LR.....	118
Tabela 54 –	Número global ($L'_{nT,w}$) da amostra MA.....	120
Tabela 55 –	Número global ($L'_{nT,w}$) da amostra EVA_ar0.....	122

Tabela 56 –	Número global ($L'_{nT,w}$) da amostra EVA_ar1.....	124
Tabela 57 –	Número global ($L'_{nT,w}$) da amostra EVA_ar2,5.....	126
Tabela 58 –	Número global ($L'_{nT,w}$) da amostra EVA_ar0+d.....	128

LISTA DE SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
C.P.S	Ciclos por Segundo
CP	Cimento Portland
CT	Centro de Tecnologia
dB	Decibel
EVA	Etileno Acetato de Vinila
Hz	Hertz
ISO	Organização Internacional para Padronização
LABEME	Laboratório de Ensaio de Materiais e Estruturas
Li	Nível de Pressão Sonora de Impacto ou Nível de Ruído de Impacto
L'nT	Nível de Pressão Sonora de Impacto Padronizado ou Nível de Ruído de Impacto Padronizado
L'nT,w	Nível de Pressão Sonora de Impacto Padronizado Ponderado ou Nível de Ruído de Impacto Padronizado Ponderado
NBR	Norma Brasileira
NIS	Nível de Intensidade Sonora
NPS	Nível de Pressão Sonora
PEBD	Polietileno de Baixa Densidade
PVC	Policloreto de Polivinila
RPQ	Relação Preço Qualidade
SUDEMA	Superintendência de Administração do Meio Ambiente.
TR	Tempo de Reverberação
UFPB	Universidade Federal da Paraíba
UFSM	Universidade de Santa Maria

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO.....	01
Objeto de estudo.....	01
Justificativa	03
Objetivos	05
Objetivo geral	05
Objetivos específicos.....	05
CAPÍTULO – 1	06
1. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	06
1.1 O meio ambiente e o desenvolvimento econômico	06
1.2 Resíduo da indústria calçadista	07
1.2.1 Características do EVA	08
1.3 Considerações sobre acústica	09
1.3.1 Classificação dos diversos tipos de ruído quanto à variação no tempo	12
1.3.2 Isolamento a ruído de impacto	15
1.3.3 Parâmetros acústicos normatizados	18
1.3.4 Avaliações de ruídos de impacto em pisos de edifícios	20
1.3.5 Alguns produtos disponíveis no mercado para tratamento do ruído de impacto	26
1.4 Estudos sobre o aproveitamento de EVA em pisos flutuantes	30
CAPÍTULO – 2	36
2. PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS.....	36
2.1 Coleta do resíduo de EVA	36
2.1.1 Definição das amostras de resíduo de EVA a serem avaliadas	36
2.2 Confecção das fôrmas para a aglomeração do resíduo de EVA	37
2.3 Definição dos aglomerantes das placas	40
2.4 Processo de moldagem das placas	40
2.5 Preparação dos pisos flutuantes	43
2.6 Procedimento do ensaio de impacto em piso flutuante em laboratório	46
2.6.1 Descrição da câmara acústica	46
2.6.2 Normalização para o ensaio de ruído de impacto	49
2.6.3 Normalização para o ensaio de Tempo de Reverberação	51
2.6.3.1 Equipamentos utilizados no ensaio do Tempo de Reverberação	52
2.7 Tratamento dos resultados obtidos através das Normas ISO 140- 7: 1998 e ISO 717-2:2013	52
CAPÍTULO - 3	56
3. RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	56
3.1 Análise dos dados e resultados obtidos	56
CAPÍTULO – 4	70
4. CONCLUSÕES	70
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	73
APÊNDICES	76
Apêndice A.....	76
Apêndice B	115

INTRODUÇÃO

Objeto de estudo

O mercado imobiliário brasileiro cresce a cada dia, principalmente em relação ao número de apartamentos vendidos. Isso ocorre devido ao déficit habitacional existente e à atual oferta de financiamentos bancários. O aumento da verticalização das cidades e a evolução das tecnologias desenvolvidas pela construção civil permitem o incremento de novos materiais de acabamento e de sistemas estruturais que possibilitem mais flexibilidade de execução nas construções. Esse desenvolvimento da verticalização e das novas tecnologias vem sendo questionados sobre seus desempenhos técnicos e sobre sua qualidade oferecida aos consumidores.

Em busca da qualidade crescente em seus produtos, as construtoras precisam se preocupar com vários fatores, como por exemplo, a questão dos projetos que ignoram o conforto ambiental e acarretam transtornos aos seus usuários. Um dos problemas verificados nas edificações de múltiplos pavimentos é o ruído de impacto entre pisos, o qual se propaga pela laje, alcança as paredes e chega até os ambientes vizinhos. Esse ruído pode ser atenuado com a elaboração do projeto e o detalhamento do piso, com materiais adequados para esse fim, como por exemplo, a inserção do sistema de um piso flutuante que é uma concepção baseada em utilizar um contrapiso revestido, apoiado sobre um material elástico resiliente, que isola o contrapiso da laje estrutural do edifício.

A quantidade do ruído de impacto gerado no piso entre pavimentos é determinada pelo vigor do objeto impactante, pela transmissão de vibrações características e pelos materiais de revestimento do piso. Então, de forma indireta a utilização de piso flutuante como material resiliente é indicado para a redução dos elevados níveis de pressão sonora, que possa reduzir os elevados níveis de frequência sonora, pois o material resiliente reduz a transmissão de vibração ao pavimento inferior e, portanto, do ruído.

Estudos comprovam que o desempenho obtido no isolamento acústico também depende das tipologias das lajes. Atualmente existem diversos tipos de lajes, como por exemplo: maciça, nervurada, pré-moldada convencional e pré-moldada treliçada. Sendo que a laje pré-moldada convencional apresenta níveis de desempenho mínimo, enquanto as maciças nervuradas e treliçadas apresentam níveis de desempenho intermediário. A NBR

15575-3:2013 dispõe de valores que classificam os sistemas de piso que separam as unidades habitacionais autônomas posicionadas em pavimentos distintos, de acordo com cada nível de pressão sonora de impacto ponderado ($L'_{nT,w}$) de cada sistema. Se o $L'_{nT,w}$ for de 66 a 80 dB o sistema do piso será considerado com nível de desempenho mínimo (M), se seu valor for de 56 a 65 dB, o nível será de desempenho intermediário (I); e se for menor ou igual a 55 dB, esse sistema será considerado como o que tem o melhor desempenho e, portanto, classificando como um sistema de desempenho superior (S), pois quanto menor o nível de decibel melhor é o isolamento acústico do sistema.

Diante dessa problemática observada nas edificações de múltiplos pavimentos atuais, a presente pesquisa visa estudar o aproveitamento do resíduo do material EVA (Etileno Acetato de Vinila) descartado da indústria calçadista paraibana, para ser empregado em sistemas de pisos flutuantes, que possam ser uma alternativa viável de aplicação nessas edificações, buscando atenuar a transmissão dos ruídos de impacto entre os pavimentos.

O EVA é um co-polímero utilizado com frequência na indústria calçadista para a confecção de solados e palmilhas internas de calçados. É fabricado em placas expandidas que, depois de recortadas, geram retalhos em que apenas uma pequena porcentagem (em torno de 20%) pode voltar a fase de produção. A Paraíba se destaca nacionalmente na produção de sandálias e conseqüentemente na geração dos resíduos de EVA que apresenta como característica a baixa densidade e que por conta dessa demanda necessita de amplo espaço físico para armazenagem.

Os resíduos de EVA são parcialmente reciclados devido às suas características. O material pode ser levado para um aterro sanitário controlado, ser destinado à incineração ou ser reciclado. Sua queima em fornos industriais diminui os problemas de armazenagem e descarte, mas liberam gases tóxicos na atmosfera. Portanto, a reciclagem é uma alternativa para se incorporar o EVA em novos produtos úteis para a construção civil.

O EVA tem uma estrutura celular que o torna um material poroso e quando adicionados ao concreto, os resíduos de EVA proporcionam leveza, flexibilidade, ductilidade e menos desperdício de material, porque as peças fabricadas com incorporação de EVA tem maior resistência a impactos, devido à elasticidade do resíduo e a sua aderência à pasta de cimento Portland.

O tema abordado nesta pesquisa tem como base resultados experimentais de dissertações desenvolvidas na Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), que trazem perspectivas positivas quanto à utilização do resíduo do EVA, para atenuar ruído de impacto entre pisos de edificações de múltiplos pavimentos. Portanto, as pesquisas desenvolvidas com o resíduo de EVA fornecem suporte para este estudo, cuja proposta é de desenvolver

uma nova geometria e composição para a execução de placas aglomeradas de EVA com cimento, com características distintas dos estudos referenciados, a serem inseridas em composições de sistemas de pisos flutuantes, que serão analisados quanto ao seu desempenho de isolamento acústico, visando à obtenção de melhores resultados para atenuar de ruído de impacto em lajes.

Nesta pesquisa, utilizaram-se os resíduos de EVA de uma indústria paraibana de calçados, de modo a oferecer uma alternativa de destinação final para eles, propondo um material alternativo que busque um melhor desempenho para o isolamento acústico de lajes entre pavimentos e que este seja um material de baixo impacto ambiental, pois dará uma nova função a um material que seria descartado no meio ambiente.

Justificativa

De acordo com a Resolução CONAMA nº 313/2002, o resíduo sólido industrial é qualquer resíduo que resulte de atividades industriais e que se encontra nos estados sólido, semissólido, gasoso – quando contido, e líquido – cujas particularidades tornem inviável o seu lançamento na rede pública de esgoto ou em corpos d'água, ou exijam para isso soluções técnicas ou economicamente inviáveis em face da melhor tecnologia disponível.

No Brasil, a indústria é responsável pelo resíduo gerado e a sua responsabilidade pelo gerenciamento de resíduos está descrita no Art. 10 da Política Nacional de Resíduos Sólidos (Lei nº 12.305/10). Preferencialmente, os resíduos industriais deveriam ser tratados e depositados no local onde foram gerados e ter destinação adequada, de acordo com as normas legais e técnicas vigentes.

Os impactos ambientais causados pelos resíduos de polímeros de EVA descartados como resíduos sólidos industriais, por exemplo, já são reconhecidos como um problema cada vez maior a ser discutido pela sociedade. Nos estudos que pesquisam o potencial do resíduo de EVA observa-se que esse material tem características relevantes para propósitos de reciclagem mecânica. Sabendo-se que a questão dos materiais residuais é fortemente presente nas discussões sobre a arquitetura sustentável e conhecendo-se seu desempenho como material leve, os estudos já realizados com o seu aproveitamento podem contribuir para atenuar, com baixo custo, problemas de sonoridade existentes em edificações e, ao mesmo tempo, minorar os impactos ambientais, quando se propõe uma possibilidade de destino ao resíduo em questão.

O desenvolvimento de técnicas construtivas para proporcionar conforto acústico em edificações habitacionais de múltiplos pavimentos tem sido uma constante preocupação em vários países. Entretanto, no Brasil, ainda que pouco explorada. A temática vem ganhando espaço em instituições de ensino e pesquisa e em empresas privadas, tanto para gerar conhecimentos, quanto para disseminá-los de forma a catalisar suas aplicações na indústria da construção civil. Assim, a engenharia e a arquitetura cumprem uma importante função social quando desenvolvem habitações acusticamente apropriadas para os seus usuários.

Níveis de ruído acima dos aceitáveis causam, além de incômodos, interferências no desempenho de tarefas, na inteligibilidade da fala e no sono; de um modo geral, afetam a saúde e o bem-estar do ser humano. A exposição a ruídos por períodos prolongados, como os encontrados usualmente em edificações de múltiplos pavimentos (ruído hidráulico, ruído de impacto em pisos, etc.), pode causar diversos efeitos psicofisiológicos nos indivíduos, dentre eles o estresse. Nesse sentido, o isolamento do ruído de impacto em pisos de edificações é de grande interesse para garantir condições de habitabilidade e salubridade acústica em ambientes residenciais.

Nesse contexto, com auxílio das normas e critérios utilizados para classificar condições de conforto, que embasam a realização de estudos experimentais de ruído de impacto em pisos de edificações de múltiplos pavimentos, é importante caracterizar o desempenho das placas compostas com o resíduo de EVA aglomeradas com cimento, no sentido de ampliar o conhecimento do seu potencial para modificações acústicas nos ambientes quanto à atenuação do ruído de impacto. Esta pesquisa é importante porque visa contribuir ao mesmo tempo para preservar o meio ambiente (destinação de resíduos EVA) e da saúde humana, na medida em que se propõe a utilizar esse resíduo como material atenuante de ruído de impacto em pisos de edificações habitacionais de múltiplos pavimentos. Ademais, o trabalho proposto poderá alimentar um banco de dados que possa ser utilizado como referência para o tema de materiais não convencionais e para a utilização de piso flutuante em projetos de edificações de múltiplos pavimentos.

Sabe-se que o resíduo de EVA tem capacidade de ser reciclado como agregado leve para a produção de compósitos aproveitáveis na construção civil. Por isso, é importante valorizar a ideia de sua reciclagem nesse segmento, o qual é um ramo com grande potencial para absorver resíduos de outros setores industriais na fabricação de seus produtos. Ou seja, é relevante combinar uma solução que contemple o desenvolvimento de um produto de baixo custo, que agregue valor às construções e que contribua para diminuir o impacto ambiental.

Preservar o meio ambiente atualmente exige esforço importante na elaboração de projetos arquitetônicos. Então, para desenvolvê-los, deve-se buscar uma nova mentalidade

ambiental e socialmente responsável. Porém, nem sempre, aquilo que é apresentado como inovação tem o desempenho esperado inicialmente. Por essa razão, é fundamental, para a evolução e o sucesso de novas propostas relativas ao tema, o incentivo nas experimentações e a constante revisão crítica dos conhecimentos consolidados na literatura. Portanto, a presente pesquisa pretende dar uma contribuição para esse processo.

Objetivos:

Objetivo geral:

Ampliar o conhecimento sobre piso flutuante utilizando compósito cimentício com agregado de EVA (Etileno Acetato de Vinila) para atenuar a transmissão dos ruídos de impactos em edifícios de múltiplos pavimentos.

Objetivos específicos:

- Determinar a capacidade de atenuação de ruídos de impactos em pisos, do material proposto adotado em sistemas simplificados de pisos flutuantes;
- Avaliar a eficiência da camada de ar incorporada ao sistema de piso flutuante quanto à sua contribuição para o isolamento acústico;
- Comparar o material proposto com materiais sintéticos tradicionais quanto à capacidade de isolamento de ruído de impacto entrepisos.

CAPÍTULO 1

FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

1.1 O meio ambiente e o desenvolvimento econômico

A preocupação com o processo de desenvolvimento econômico e com a degradação do meio ambiente vem sendo bastante discutida, inclusive em várias Conferências mundiais que já foram realizadas, dentre elas a Rio 92, no Rio de Janeiro - Brasil em 1992 e a Rio+10, em Johannesburgo - África do Sul, que buscaram firmar as metas e elaborar mecanismos para o desenvolvimento sustentável em favor da redução dos impactos ambientais. Em 2012 foi realizada mais uma edição do Rio+20, novamente no Rio de Janeiro, dando continuidade às discussões sobre o tema.

Cada ação humana determina uma absorção ou aquisição de recursos do meio ambiente. Por outro lado, acontece também a liberação de vários tipos de emissões químicas e/ou físicas, que não são absorvidas pelo ecossistema e comprometem seu equilíbrio. Alguns efeitos ambientais determinados por estes impactos são: esgotamento dos recursos naturais, aquecimento do globo terrestre, redução da camada de ozônio, poluição, acidificação, toxinas no ar, na água, no solo e lixo descartados. Por isso, é necessário que todos se conscientizem da necessidade de respeitar as regras mínimas de preservação e de controle ambiental.

A geração de resíduos cresce devido ao crescimento populacional e que por sua vez está ligada a crescente industrialização, e quando não tem destinação final correta, trazem consequências nocivas ao meio ambiente. Essa problemática tem feito com que os regimentos legais aumentem as exigências técnicas quanto à menor geração, ao tratamento, ao transporte e ao armazenamento adequado do lixo industrial. Existem normas, como a ISO 14000:1993, que determinam parâmetros de controle de emissão de poluentes, desde a extração de recursos naturais até o processo de fabricação dos produtos e os resíduos gerados. O objetivo desse controle é manipular todas as etapas envolvidas no processo e diminuir, em cada uma delas, o impacto gerado ao meio ambiente.

No caso das indústrias de calçados, cujo crescimento tem acompanhado o desenvolvimento econômico, o impacto no meio ambiente se destaca pela geração de resíduos, que muitas vezes, por falta de opção rentável e/ou por falta de políticas públicas locais, acabam sendo depositados em locais inadequados e geram uma problemática ambiental. Entre os resíduos gerados nesta indústria ocorrem os de EVA, um material sintético utilizado para produzir mantas que são cortadas no formato dos calçados e que gera sobras inevitáveis. Tais resíduos são gerados em grande quantidade pelas indústrias de calçados e têm impactos negativos no meio ambiente, seja pelo baixo reaproveitamento ou pela disposição final que demanda amplo espaço físico para armazenagem.

1.2 Resíduo da indústria calçadista

A geração do resíduo da indústria calçadista, especificamente, o copolímero etileno acetato de vinila (EVA), está relacionado ao processo de produção de solas, entressolas e palmilhas dos calçados. De acordo com os dados do inventário de resíduos sólidos realizado pela SUDEMA-PB em 2005, uma única fábrica no estado da Paraíba produz aproximadamente 132 milhões de sandálias por ano. Durante vinte e quatro horas por dia, seriam produzidos mais de quatro pares de sandálias por segundo (LIMA FILHO, 2008).

Os resíduos gerados (Figura 01) durante a fabricação das placas são em forma de aparas, que surgem após o processo de expansão das placas, e em forma de pó, resultante do lixamento delas. Esses últimos são os reutilizados com mais facilidade pelas indústrias e podem servir como cargas que voltam ao processo de fabricação das placas (GARLET, 1998).



Figura 01 - Resíduo gerado em forma de aparas de sandálias e em pó.
Fonte: Bezerra (2002).

Para Bezerra (2002), o processo de reutilização desses resíduos, na própria indústria, é lento e tem limitações técnicas quanto à quantidade de resíduos que se pode incorporar ao processo sem comprometer a qualidade do produto. Segundo ele, o volume de resíduo reaproveitado na própria indústria é bem menor (não mais que 40%) do que o

volume por ela gerado. Esses retalhos tornam-se resíduos sólidos que, por se tratar de um material não biodegradável, tem gerado grande preocupação entre as empresas e os pesquisadores para controlar seu descarte para que o problema não se agrave.

1.2.1 Características do EVA

O EVA é um material copolímero, formado de pequenas unidades estruturais repetidas, que são resultantes do encadeamento de átomos de carbono, em sua longa cadeia principal (MANO, 1990). Para se obter o copolímero EVA faz-se a copolimerização via radicais livres do monômero de etileno com o monômero de Acetato de Vinila em um sistema de alta pressão.

A obtenção do copolímero EVA ocorreu pela primeira vez em 1938 de forma experimental (BEZERRA, 2002), mas sua utilização do EVA na indústria de calçados aconteceu a partir da década de 1970, quando foram conferidas as boas características na fabricação de sandálias, como por exemplo: baixa densidade, alta durabilidade, fácil processabilidade, menor encolhimento e custo compatível com as outras sandálias produzidas com borracha naquela época.

Os copolímeros EVA podem ser sintetizados em diversas porcentagens (em peso) de Acetato de Vinila, divididos em EVA de baixa concentração (até 20% do material) e EVA de alta concentração (20% até 50%). No Brasil, as resinas utilizadas na produção de placas para solados de calçados apresentam Acetato de Vinila em uma quantidade entre 19% e 28% (CTCCA, 1993 *apud* ROCHA, 2008). O EVA é um composto microporoso constituído por: agente de expansão, resina de EVA (polietileno, covinil, acetato), agente reticulante, cargas, ativadores, auxiliares de processo e outros polímeros, como a borracha.

A resina de EVA é o componente mais importante da formulação, pois contém Acetato de Vinila, cuja quantidade define as propriedades do composto. À medida que o teor de acetato de vinila aumenta, as suas propriedades ficam mais próximas à borracha ou ao PVC plastificado (PREZOTTO *et al* 1990).

Os ativadores entram na composição com a finalidade de reduzirem a temperatura de decomposição do esponjante e, assim, torná-lo compatível com a temperatura de reticulação da placa de EVA. Existem muitos tipos de ativadores, por exemplo, o óxido de zinco (ZnO), glicóis, estearatos metálicos e as cargas entram para reduzir o custo da composição. Conforme o tipo e a quantidade de carga tem-se uma variação na qualidade do produto. São exemplos de cargas: o negro de fumo, o carbonato de cálcio (CaCO_3) e a sílica (SiO_2).

Os auxiliares de processo são usados para interferir de forma positiva e dar condições de executar o processo. Os lubrificantes são exemplos de auxiliares de processo e estão presentes em quase todas as composições. De uma forma geral, os lubrificantes proporcionam: melhor dispersabilidade dos produtos, melhor desmoldagem, economia de energia durante a mistura, redução de dureza e redução do tempo de mistura.

O peróxido é o produto utilizado para fazer a reticulação do copolímero de EVA. Normalmente são utilizados peróxidos de dicumila ou peróxidos de 1,3 bisterc-butil isopropil benzeno. O esponjante normalmente utilizado em EVA é o Azodicarbonamida (Expancel AZ), e durante a decomposição deste produto ocorre a liberação de gás em volume aproximado de 300 ml/g. Com esse e, basicamente, o nitrogênio, mistura-se o EVA com elastômero ou com PEBD (polietileno de baixa densidade) para se obter propriedades específicas.

Segundo Bezerra (2002), conforme aumenta o teor de acetato de vinila contido no copolímero de EVA, aumentam-se a elasticidade, a adesividade, a flexibilidade e a densidade e diminuem a dureza e o ponto de amolecimento. As placas expandidas de EVA, normalmente, utilizadas na fabricação dos solados de calçados apresentam uma densidade entre 180 e 230 kg/m³.

De acordo com Garlet (1998), as principais características do EVA são: flexibilidade, leveza, resistência a baixas temperaturas, baixa resistência ao deslizamento, fácil pigmentação, boa estabilidade à luz, resistência a intempéries e resistência a solventes. Além de ser usado na indústria de calçados, o EVA também é aplicado em vários outros ramos industriais, como em embalagens, no vestuário, na Medicina, na comunicação, na eletricidade, na agricultura, na construção civil e em outros.

1.3 Considerações sobre acústica

Acústica é o ramo da Física que lida com a geração, o controle, transmissão, recepção e os efeitos do som. O som pode ser definido como a sensação estimulada nos órgãos da audição pela energia radiante mecânica transmitida como ondas de pressão longitudinal através do ar ou de outro meio. De acordo com Adams e Ching (1991), onda sonora é uma onda de pressão longitudinal que se propaga no ar ou em um meio elástico, produzindo uma sensação auditiva. O som se desloca pelo ar a uma velocidade de aproximadamente 340 m por segundo, no nível do mar, a 1,4 km por segundo pela água, a 3,6 km por segundo pela madeira, e a cerca de 5,5 km por segundo pelo aço.

As vibrações sonoras propagam-se pelo ar em razão de pequenas alterações provocadas na pressão atmosférica, configurando-se como ondas sonoras. Ao sofrer um estímulo sonoro (vibração), as partículas do ar são submetidas a sucessivas compressões e rarefação (Figura 02), de forma que o movimento de uma partícula provoca a vibração da partícula vizinha, resultando na propagação sonora.

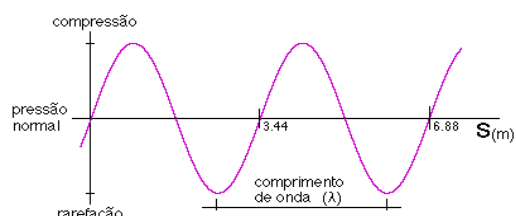


Figura 02 – Esquema do comprimento de onda sonora (λ)

Fonte: <http://www.eca.usp.br/prof/iazzetta/tutor/acustica/comprimento/comprim.html>

A grandeza da pressão exercida sobre a atmosfera determina o máximo deslocamento da partícula em relação ao seu centro de equilíbrio. Esse pequeno deslocamento é chamado amplitude. O número de vezes que uma partícula completa um ciclo de compressão e rarefação em determinado intervalo de tempo ao redor de seu centro de equilíbrio, ou seja, o número de vezes em que ela passa por uma mesma fase de vibração, é denominado frequência. Normalmente a frequência é uma grandeza medida em Hertz (Hz), que representa o número de ciclos por segundo (c.p.s.).

Cada fonte sonora tem sua capacidade própria de vibrar em determinada faixa de frequência, para que seja audível ao ouvido humano, as frequências devem se situar entre 20 e 20.000 Hz. As frequências mais altas, com maior número de oscilações temporais, correspondem aos sons mais agudos, enquanto as frequências mais baixas, com menor número de oscilações temporais, aos sons mais graves. Se dividirmos a escala de frequências em diferentes bandas “b”, contendo “F” frequências, temos a pressão sonora eficaz de cada banda. Existem três bandas de largura proporcional normalizadas denominadas, respectivamente, de: bandas de oitava, bandas de um terço de oitava e bandas de um doze avos de oitava.

Em relação à onda sonora, se ainda for considerada, a distância entre duas vibrações sucessivas a partir de uma fonte, ou seja, a distância que o som percorre em cada ciclo completo de vibração, obtém-se uma característica de importância fundamental para o desempenho acústico de um ambiente: o comprimento de onda (λ).

$$V = \lambda \cdot f \quad (\text{Equação 01})$$

Onde: V = velocidade de propagação do som;

λ = comprimento de onda;

f = frequência.

Essa grandeza física do som caracteriza seu comportamento perante as superfícies, revelando se a superfície tem dimensões adequadas para que ocorra a distribuição sonora desejada para o ambiente. Para facilitar os estudos acústicos, a larga escala de pressão sonora é substituída pelo decibel (dB). O mesmo ocorre para a intensidade. Segundo Almeida *et al* (2006) o decibel corresponde a uma escala logarítmica, que se aproxima da percepção escutada às flutuações da pressão e da intensidade sonora. O decibel é utilizado para medir o nível de intensidade sonora (NIS) e o nível de pressão sonora (NPS).

$$\text{NIS} = 10 \times \log (\text{IS} / \text{IR}) \quad (\text{Equação 02})$$

Onde:

NIS = nível de intensidade sonora;

IS = intensidade sonora em W/m^2 ;

IR = intensidade sonora de referência (10^{-12} Pa).

$$\text{NPS} = 20 \log P / P_0 \quad (\text{Equação 03})$$

Onde:

NPS = nível de pressão sonora;

P = valor eficaz da pressão – Pascal ou N/m^2 ;

P₀ = valor de referência – menor pressão recebida pelo ouvido humano a 1000 Hz = 0,00002 N/m^2 ou 20 $\mu\text{ Pa}$.

1.3.1 Classificação dos diversos tipos de ruídos quanto à variação no tempo

Ruído é qualquer som indesejado, desagradável, discordante ou que interfira na audição de outro som. Sempre que possível, os ruídos devem ser controlados em suas fontes. A redução necessária no nível de ruído de um espaço para outro depende do nível da fonte sonora e do nível de intrusão do som que possa ser aceitável para o ouvinte. Segundo Adams e Ching (1991) o nível de som percebido ou aparente em um espaço depende dos seguintes fatores:

- A perda de transmissão através da parede, piso ou forro;
- O nível de absorção do espaço que recebe o som;
- O nível de mascaramento ou o ruído de fundo, que eleva o limiar de audição dos demais sons presentes;
- Ruído ou som branco é o som invariável e discreto, de mesma intensidade para todas as frequências de uma determinada banda, utilizado para mascarar ou anular o som indesejado.

Os ruídos existentes em um ambiente interno podem ser decorrentes de atividades externas ou internas à edificação. Eles se caracterizam por sua intensidade, que é a quantidade de energia vibratória que se propaga nas áreas a partir da fonte emissora e pode ser expressa em termos de energia (watt/m^2) ou em pressão (N/m^2 , Pascal), e por sua frequência, representada pelo número de vibrações completas em um segundo, sendo expressa em Hz.

De acordo com Almeida *et al* (2006), a forma de tratamento para reduzir ruídos varia com o seu tipo e as fontes de ruído que podem ser propagadas, tanto sob a forma de ruídos aéreos quanto de ruídos transmitidos por vibrações de sólido por impacto. Enquanto um material isolante aplicado sobre uma parede reduz o nível sonoro transmitido para outro ambiente, um material absorvente regula a quantidade de absorção do som dentro do próprio ambiente. Segundo Silva (1997, p.20), os ruídos quanto à variação no tempo se classificam em:

- Contínuo: aquele com flutuação de nível de pressão sonora pequena, que pode ser desprezada dentro do período de observação;

- Intermitente: aquele cujo nível de pressão sonora cai bruscamente ao nível do ambiente, várias vezes, durante o período de observação, desde que o tempo em que o seu nível se mantenha com o valor constante, diferente daquela do ambiente, e seja da ordem de grandeza de um segmento ou mais;
- De fundo: todo e qualquer ruído que esteja sendo captado e não seja proveniente da fonte objeto das medições.
- Impulsivo: é o que consiste em uma ou mais explosões de energia acústica, tendo cada uma com duração menor do que cerca de um segundo. Este será o ruído abordado nesta pesquisa.

Os ruídos causam problemas de saúde e influenciam o estado emocional dos indivíduos e, conseqüentemente, o seu desempenho. O conforto acústico das edificações deve ser planejado no lançamento da proposta arquitetônica. Ao profissional cabe projetar um ambiente que consiga evitar interferências nas atividades do usuário e deve também permitir que as atividades desenvolvidas por ele não afetem as atividades de outros usuários. De acordo com Hax (2002) os problemas acústicos que se apresentam na arquitetura são:

1. Os ruídos alheios ao local ou produzidos no próprio ambiente, tendo em vista o sossego, a saúde e a capacidade de trabalho do indivíduo;
2. A falta de condicionamento acústico dos ambientes, que prejudica a boa audição e a inteligibilidade, causando defeitos acústicos comuns como: ecos, ressonâncias e reverberação excessiva;
3. E as vibrações, que são sons de baixa frequência produzidos por maquinários.

O isolamento acústico é uma das formas de se controlar a propagação de ruído nas edificações, e toda a estrutura técnica do isolamento acústico apoia-se totalmente na lei de Berger, ou lei fundamental, que preconiza que quando se deseja impedir a propagação do som em uma determinada substância, é necessário utilizar como material isolante outra substância, cuja resistividade acústica seja a mais diferente possível da primeira (CARVALHO, 1967). Esta lei aplicada ao isolamento do som, que se propaga no meio sólido, determina o uso de materiais leves, questão de fundamental importância na presente pesquisa.

Um aspecto relevante que diz respeito à capacidade de isolamento acústico e sistema de materiais, consiste em gerar espaços vazios em seu interior com materiais absorventes sonoros, pois o som é resultado de toda vibração ou onda mecânica gerada por um corpo vibrante, passível de ser detectado pelo ouvido humano.

O som requer um meio qualquer para se propagar, pois não se propaga no vácuo. Em acústica, isolar entende-se como criar obstáculo, ou impedir a passagem do som de um ambiente para outro, através de sistemas de grande massa ou associação de massa com camadas antivibrantes, ou seja, adotando-se sistema MMM (massa-mola-massa) (CARVALHO, 2006). A presente pesquisa se baseia no sistema de massa-mola-massa para atenuar os ruídos, que são transmitidos através dos pisos dos edifícios de múltiplos pavimentos.

O piso do edifício habitacional é o elemento responsável por proporcionar isolamento acústico, em função do uso. O projeto para isolamento acústico de um piso considera as propriedades acústicas dos materiais, componentes e elementos construtivos, de modo a assegurar o conforto acústico em termos dos níveis de ruídos transmitidos via aérea e estrutural, bem como privacidade acústica assegurando a inteligibilidade da comunicação verbal em ambientes adjacentes. Estes estudos projetuais devem levar em consideração a ventilação natural e/ou artificial para contemplar harmonia com as questões de acústica arquitetônica.

O processo vibratório de uma laje de concreto armado promove transferência de vibrações para os apoios que, conectados com as paredes do pavimento imediatamente inferior induzem-nas a vibrarem, tornando-as fontes secundárias de ruídos (CARVALHO, 2006). Nesses termos, a adoção de forro (Figura 03) no pavimento inferior em muito pouco ou quase nada contribui para atenuar os ruídos e ainda, conforme o afastamento desse forro em relação à laje, o sistema pode constituir-se em instrumento de ressonância cuja função é a de realçar os ruídos.

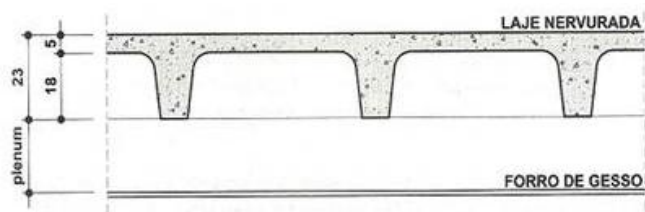


Figura 03 – Forro de gesso abaixo da laje nervurada
Fonte: Carvalho, 2006

1.3.2 Isolamento de ruído de impacto

As vibrações de sólidos e impactos são transmitidas diretamente sobre uma estrutura que provocam posteriormente a vibração do ar, que são normalmente associadas a movimentos de máquinas e fricções. Em uma edificação, alguns dos elementos que estão sujeitos à ação de uma força de impacto ou vibração são os tetos e os pisos, enquanto as paredes estão mais expostas a ruídos aéreos.

De acordo com Almeida *et al* (2006), os impactos são vibrações que se propagam pelas estruturas (Figura 04). A isolação das vibrações envolve a utilização de materiais resilientes¹, pisos flutuantes ou descontinuidade das estruturas.

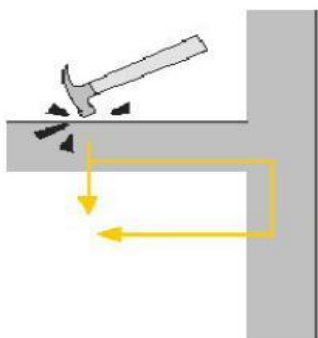


Figura 04 – Vibrações propagadas pelas estruturas (parede e laje).

Fonte: <http://es.paperblog.com/aislamiento-acustico-al-ruído-de-impacto-suelos-flotantes-194003/>

Carvalho (2010) refere que as lajes das edificações de concreto armado promovem a transferência de vibrações para as suas estruturas de apoio (vigas e pilares) que se conectam às paredes dos ambientes e as induzem a vibrar. Portanto, o uso do forro sob as lajes pouco contribui para atenuar os ruídos.

Losso e Viveiros (2004) afirmam que o isolamento sonoro pode ser alcançado através de algumas soluções acústicas. Primeiramente por meio da diferença de impedância², pois a capacidade de acoplamento da energia sonora ao passar por uma mudança de meio, por exemplo: fluido para sólido ou ar para parede, é inversamente proporcional à diferença de impedância entre os meios. Os materiais com impedância muito

¹ Propriedade que alguns corpos apresentam de retomar a forma original após terem sido submetidos a uma deformação elástica.

² A impedância acústica de um meio está relacionada com a resistência ou dificuldade do meio a passagem do som. Corresponde ao produto da densidade do material pela velocidade do som no mesmo. Quando o feixe sonoro atravessa uma interface entre dois meios com a mesma impedância acústica, não há reflexão e a onda é toda transmitida ao segundo meio. Disponível em:

<http://www.hcnet.usp.br/inrad/departamento/graduacao/aula/apostilafisicausg.pdf>

diferentes em relação ao ar têm menos capacidade de acoplar e uma menor transmissão da energia sonora, o que significa mais capacidade de isolamento sonoro. A impedância é matematicamente definida pelo produto da densidade específica do meio pela velocidade do som no meio em questão.

A segunda solução é a lei da massa, pois a transmissão da energia sonora através de um sólido depende fundamentalmente da frequência sonora incidente, portanto, diferentes faixas de frequências resultam em padrões distintos de transmissão sonora. Segundo Egan (1988) *apud* Losso e Viveiros (2004), quanto maior a massa do material, maior é a resistência ao movimento do elemento e menor é a quantidade de energia transmitida. Por essa razão, a expressão que descreve a perda de transmissão nessa região é comumente conhecida como “Lei da Massa”.

Assim, como a diferença de impedância pode evitar a transmissão sonora, a utilização de estratégias, no sentido de se evitar a transmissão sonora de um material para o outro, é um dos meios para anular a transmissão via sólido. Isso pode ser obtido com a utilização de materiais resilientes entre uma partição e uma fonte sonora ou entre diferentes componentes de uma parede ou piso, bloqueando o caminho de propagação e, conseqüentemente, aumentando o isolamento sonoro. Segundo Rougeron (1977, p. 151) "a propagação dos ruídos de impacto efetua-se em todos os sentidos e nem sempre é possível localizar o ponto de origem do impacto, ainda que o ouvido humano seja alertado pela onda de ruído aéreo que acompanha esta manifestação".

Para conseguir isolar ruídos de impacto deve-se atuar sobre o nível sonoro transmitido pela estrutura, de um andar para outro, e recorrer a formas construtivas que amortecem os ruídos provenientes do choque entre sólidos. Assim, lança-se mão do revestimento de pisos com materiais elásticos, forros falsos ou pisos flutuantes.

Warnock (1999) sugere que é necessário adicionar um material resiliente no piso, que reduzirá os elevados níveis de frequência sonora. Munteanu e Tamas-Gavre (2011) dizem que a quantidade do ruído de impacto gerado no piso entre pavimentos é determinada pelo vigor do objeto impactante, pela transmissão de vibrações características e os materiais de revestimento do piso.

A utilização de materiais resilientes está intimamente relacionada com a redução do nível de ruído de impacto. Lee et al (2003) em seu estudo afirmam que, como a rigidez dinâmica de materiais resilientes diminui, o nível de redução de ruído de impacto aumenta .

A prática da utilização de um piso flutuante para atenuar ruído de impacto nas edificações é utilizada já faz algum tempo, como relatado no trabalho de Vér (1970) que diz que para se atingir melhoria na transmissão de ruído de impacto através da estrutura a

utilização de um piso flutuante é mais econômico do que aumentar a espessura da laje. O piso flutuante (Figura 05) é uma concepção que se baseia em utilizar um contrapiso revestido, apoiado sobre um material elástico resiliente, que isola o contrapiso da laje estrutural do edifício. O contrapiso e as cargas ficam sobre o material elástico, que servirá como amortecedor de ruídos. Almeida *et al* (2006) diz que é necessário que o contato entre as superfícies seja feito somente por meio de material resiliente, pois qualquer pequeno ponto rígido de contato pode promover as pontes acústicas.

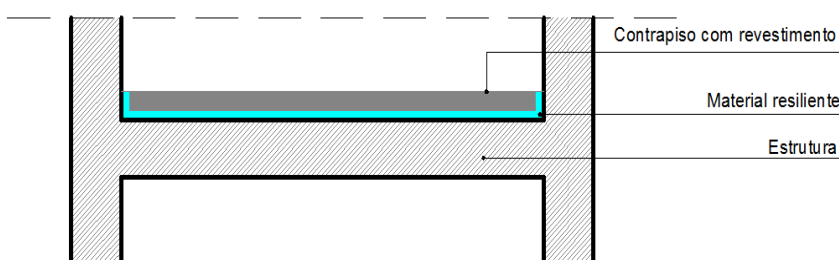


Figura 05 – Esquema de piso flutuante.
Fonte: Elaboração própria.

Os materiais elásticos mais utilizados em pisos flutuantes são: espuma de polietileno extrudada, lã de vidro, borracha com baixa densidade, poliestireno expandido elastizado, entre outros. Segundo Hax (2002), os materiais elásticos empregados nos pisos flutuantes devem cumprir os seguintes requisitos: ter boa resistência mecânica (não endurecer); ter boa resistência química (não se decompor nem ser atacado por umidade); ser incombustível e ser elástico (ter baixa rigidez dinâmica). A Figura 06 apresenta uma analogia mecânica do sistema de piso flutuante, onde o m é a massa por unidade de superfície do piso flutuante (kg/m^2), k é a rigidez dinâmica por unidade de superfície do material elástico e o r é o amortecimento por unidade da superfície do material elástico.

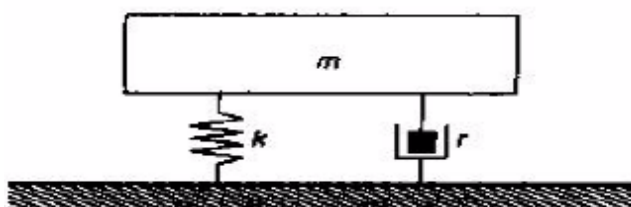


Figura 06 – Equivalente mecânico de um piso flutuante.
Fonte: Méndez *et al apud* Hax (2002)

Para se obter uma frequência crítica num nível baixo deve-se trabalhar com a rigidez dinâmica k do material. Quanto menor a rigidez dinâmica, mais baixa a frequência crítica do sistema.

1.3.3 Parâmetros acústicos normalizados

Projetos acústicos requerem níveis de som como os previstos em normas nacionais e internacionais, como as normas da ABNT: NBR 10.151: 2000 - Avaliação de Ruído em Áreas Habitadas e NBR 10.152: 2000 - Nível de Ruído para Conforto Acústico, por exemplo. Os limites para ruídos ocupacionais que incidem sobre o corpo humano são indicados pelas normas trabalhistas.

A NBR 15575-3:2013 apresenta os requisitos e os critérios para se verificar o isolamento acústico do sistema do piso entre unidades autônomas (Tabela 01). São considerados o isolamento de ruído de impacto no sistema de piso (caminhamento, queda de objetos e outros) e o isolamento de ruído aéreo (conversas, som proveniente de TV e outros). Os valores normativos são obtidos por meio de ensaios realizados em campo para o sistema construtivo. Os métodos disponíveis para a avaliação se dividem em:

- Isolamento de ruído de impacto padrão em sistemas de pisos: determina, em campo, o nível de pressão sonora de impacto padrão em sistema de piso entre unidades autônomas, caracterizando de forma direta o comportamento acústico do sistema. O método é descrito na norma ISO 140-7, com valores em bandas de um terço de oitava entre 100 e 3150 Hz ou em bandas de oitava entre 125 e 2000 Hz. E pelo procedimento descrito na norma ISO 717-2:2013, utilizado para determinar o valor do nível de pressão sonora de impacto padronizado ponderado, $L'_{nT,w}$, entre os ambientes a partir do conjunto de valores de nível de pressão sonora de impacto padronizado, L'_{nT} .
- Isolamento de ruído aéreo de sistema de pisos: determina, em campo, o isolamento sonoro de ruído aéreo entre unidades autônomas e entre uma unidade e as áreas comuns, caracterizando de forma direta o comportamento acústico do sistema. O método é descrito na norma ISO 140-4.

Tabela 01 - Parâmetros acústicos de avaliação

Símbolo	Descrição	Norma	Aplicação
$L'_{nT,w}$	Nível de pressão sonora de impacto padrão ponderado	ISO 140-7 ISO 717-2	Sistema de Piso
$D_{nT,w}$	Diferença padronizada de nível ponderada	ISO 140-4 ISO 717-1	Vedações verticais e horizontais, em edifícios (pisos, paredes, etc.)

Fonte: NBR 15575 -3:2013

A norma NBR 15575-3:2013 determina requisitos para níveis de ruído admitidos na habitação. É necessário avaliar o som resultante de ruído de impacto (caminhamento, queda

de objetos e outros) entre unidades habitacionais. Para isso devem ser avaliados os dormitórios da unidade habitacional. As medições devem ser executadas com portas e janelas fechadas. Os valores mínimos de desempenho são indicados na Tabela 02 a seguir:

Tabela 02 – Critério e nível de pressão sonora de impacto padronizado $L'_{nT,w}$:

Elemento	$L'_{nT,w}$ dB
Sistema de piso separando unidades habitacionais autônomas posicionadas em pavimentos distintos	≤ 80
Sistema de piso de áreas de uso coletivo (atividades de lazer e esportivas, como home theater, salas de ginástica, salão de festas, salão de jogos, banheiros e vestiários coletivos, cozinhas e lavanderias coletivas) sobre unidades habitacionais autônomas	≤ 55

Fonte: NBR 15575- 3:2013

De acordo com a NBR 15.575-3:2013, esse critério tem por base o denominado nível de pressão sonora de impacto padronizado ponderado ($L'_{nT,w}$), ou seja, é o número único do isolamento de ruído de impacto em edificações, derivado dos valores em bandas de oitava do Nível de Pressão Sonora de Impacto Padronizado ($L'_{nT,w}$) em concordância com o procedimento especificado na Norma ISO 717-2: 1996.

A norma NBR 15575-3:2013 apresenta também recomendações relativas a outros níveis de desempenho do nível de pressão sonora de impacto padronizado, $L'_{nT,w}$, com o intuito de complementar os valores normalizados anteriormente. Esta norma recomenda que o construtor ou incorporador informem o nível de desempenho dos sistemas que compõem a edificação habitacional, quando exceder o nível mínimo (M) de acordo com a Tabela 03 abaixo:

Tabela 03 – Critério e nível de pressão sonora de impacto padronizado ponderado, $L'_{nT,w}$

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
Sistema de piso de áreas de uso coletivo (atividades de lazer e esportivas, como home theater, salas de ginástica, salão de festas, salão de jogos, banheiros e vestiários coletivos, cozinhas e lavanderias coletivas) sobre unidades habitacionais autônomas	51 a 55	M
	46 a 50	I
	≤ 45	S

Fonte: NBR 15.575-3:2013

A melhor classificação de isolamento acústico pela referida norma (S – superior) estabelece a percepção de ruídos no compartimento na recepção menor ou igual a 55 dB.

Nos termos da NBR 15.575-3:2013, o máximo nível de ruído de impacto admissível de se perceber no compartimento de recepção (onde o ruído de impacto é recebido) é de 80 dB (Classificação M, mínimo). Esse compartimento fica embaixo do compartimento de emissão onde é colocada a fonte de ruído de uma máquina de impacto normalizado (Figura 07).



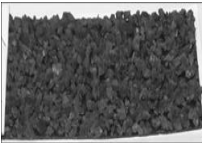
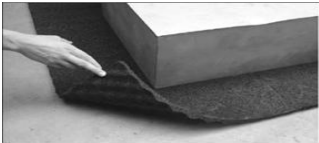
Figura 07 – Esquema da disposição das câmaras de emissão e recepção
Fonte: http://www.asbea.org.br/download/Davi_Akkerman_AsBEA_Rio.pdf

1.3.4 Avaliações de ruídos de impacto em pisos de edifícios

Na temática de isolamento acústico há alguns estudos, como o de Ferreira (2007), que analisou um conjunto de soluções tecnológicas para isolamento de ruídos de propagação aérea e estrutural utilizadas em edifícios de habitação através das informações dadas pelos fabricantes. Tais soluções técnicas foram caracterizadas de acordo com o seu campo e modo de aplicação dos materiais que as constituem, da sua espessura e massa superficial total, do seu desempenho acústico e do custo de aquisição e instalação. Estes parâmetros foram condensados na relação preço-qualidade, a qual permite classificar as diversas soluções construtivas.

Dentre as soluções técnicas de isolamento de ruído de impacto foram analisados os sistemas de pavimentos flutuantes constituídos por materiais resilientes, que foram divididos em quatro grupos: cortiças e derivado da cortiça (1), lãs minerais (2), borrachas (3) e polietilenos (4). A Tabela 04, abaixo, apresenta alguns exemplos dos produtos analisados:

Tabela 04 - Exemplos de produtos analisados

Cortiça (1)	Painel de lã de vidro. (2)	Granulado de borracha (3)	Polietilenos (4)
			

Fonte: Ferreira (2007).

Na análise global dos revestimentos aplicados em pavimentos, concluiu-se que a solução PF.11 (Figura 08) (revestimento + contrapiso 40 mm + lã de vidro 15 mm + lâmina de polietileno 0,2 mm + laje de concreto 140 mm) se classificou com um valor de ΔL_w (valor único da redução do nível sonoro de percussão normalizado em decibéis) muito superior ao da média (cerca de 34 dB), aliado a um custo e a uma espessura abaixo da média, o que permitiu classificar esta solução na primeira posição em termos de preço-qualidade. De um modo geral, foram as soluções de revestimento flutuante sobre lãs minerais aliadas a uma lâmina de polietileno que apresentaram melhores classificações em termos da relação RPQ (relação preço-qualidade de uma solução técnica de isolamento sonoro).

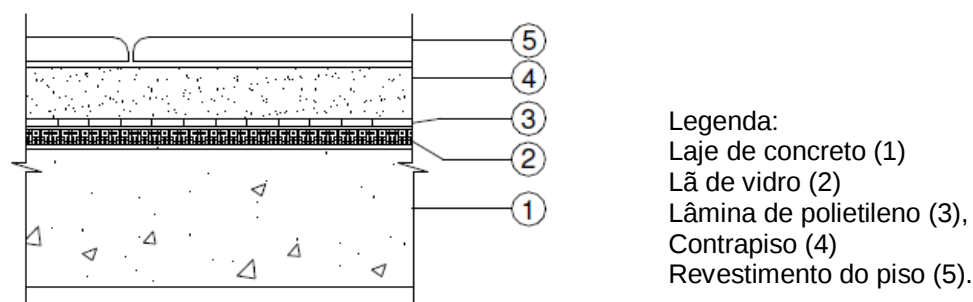


Figura 08 – Solução piso flutuante sobre laje maciça.
Fonte: Ferreira (2007).

Concluiu-se ainda que das soluções de revestimento apresentadas aplicadas em lajes pré-moldadas, foi a solução PA.3 (laje pré-moldada³ com argila expandida + enchimento LECA⁴ (100) + Massa para revestimento de pavimentos, composta de areia e cimento + cortiça) foi a que se classificou em primeiro lugar em termos da relação preço-qualidade, e apresentou um índice ΔL_w elevado (cerca de 35 dB), na ordem de grandeza da solução PF.11 apresentada para revestimentos flutuantes aplicáveis em lajes maciças.

Ferraz (2008), verificou os princípios básicos de acústica nas edificações e seus sistemas de controle de ruído. Através de 16 ensaios em conformidade com a ISO 140-7:

³ Estrutura protendida, constituída por vigotas de concreto protendido e blocos como forma, recebendo em obra uma camada de concreto armado, com função resistente e de solidarização do conjunto.

⁴ Este material é um concreto leve de argila expandida, com uma densidade de 450 kg/m³.

1998, para determinar as propriedades acústicas de isolamento de ruído de impacto em sistemas de pisos flutuantes. Nesta pesquisa foram utilizados: madeira ou porcelanato para o assoalho; argamassa, placa cimentícia ou placa sanduíche *Masterboard*⁵ para o contrapiso; manta de polietileno ou manta de lã de vidro como material resiliente; e a laje estrutural de concreto maciço. A análise dos resultados constatou que todas as configurações de pisos flutuantes ensaiadas estão de acordo com os valores de referência recomendados pela *Federal Housing Administration (FHA)* do *United States Department of Housing and Urban Development – HUD*.

Na mesma pesquisa também foram realizados estudos de casos utilizando procedimentos de ensaios em 32 sistemas de pisos flutuantes reduzidos, com configurações de pisos flutuantes simplificados, com dimensões de 1m² de área. Na comparação dos resultados obtidos entre os ensaios simplificados e os ensaios realizados de acordo com as normas ISO 140-7:1998, constatou-se que os critérios estabelecidos pela ABNT NBR 15.575-3: 2008 são bem menos restritivos que os critérios recomendados pela FHA.

Outra pesquisa foi a de Pereyron (2008), que realizou análises comparativas quanto ao desempenho do isolamento acústico de tipologias de lajes (maciça, nervurada, pré-moldada convencional e pré-moldada treliçada) submetidas a ruído de impacto. Os ensaios foram realizados “*in situ*”, em conformidade com as normas da ISO 140-7: 1998. A análise e a interpretação dos dados foram feitas com base na ISO 717-2: 1996 (esta norma foi atualizada em 2013), demonstrando o desempenho de cada laje. Nesse estudo, concluiu-se que as tipologias de laje maciça, laje nervurada e a laje pré-moldada treliçada atingiram um nível de desempenho intermediário, enquanto a laje pré-moldada convencional se classificou como o nível mais baixo, denominado mínimo.

No estudo desenvolvido por Cornacchia (2009) foi diagnosticado o nível de isolamento do ruído de impacto do sistema laje e piso de unidades residenciais, considerando as seguintes lajes típicas como predominantes em edifícios residenciais: maciça, nervurada e pré-moldada. As medições foram realizadas em 30 apartamentos, os ensaios foram conduzidos de acordo com as normas internacionais ISO 140-7: 1998 e ISO 717-2: 1996 com laje nervurada, cinco apartamentos se enquadram dentro do nível de desempenho superior de acordo com a NBR 15.575:2008, nenhum apartamento analisado teve um desempenho considerado intermediário, e a grande maioria apresentou níveis de desempenho mínimo com valores de L'_{nTw} maiores que 66 dB. Para o grupo de amostras dos apartamentos avaliados com laje maciça, apenas um apartamento apresentou um desempenho considerado superior, nenhum teve desempenho intermediário e os outros

⁵ São painéis compostos por miolo de madeira e faces externas de placas cimentícias. Disponível em < <http://www.telhado.com.br> > Acesso em: 15 de abril de 2012.

apartamentos apresentaram desempenho mínimo. Na avaliação para a laje pré-moldada não houve nenhuma amostra que se enquadrasse nos critérios de desempenho superior; apenas um apartamento apresentou desempenho intermediário e os outros registraram desempenho mínimo. Portanto, segundo os critérios de desempenho da norma brasileira 15.575:2008, percebe-se globalmente que 20% das lajes avaliadas (nervurada, maciça e pré-moldada) apresentaram desempenho superior com níveis inferiores a 55 dB; apenas 3% obtiveram desempenho intermediário entre 56 e 65 dB, e a maioria (77% dos quartos avaliados) registrou um desempenho mínimo, com valores de L'_{nTw} maiores que 66 dB. Destaca-se ainda, que foram obtidos valores superiores a 80 dB, que é o nível máximo previsto na Norma Brasileira.

Lopes (2009) propôs a utilização de um sistema de revestimento flutuante com camada elástica configurada por câmaras de ar de pressão variável, em função das exigências da solicitação dinâmica e do local de instalação. O objetivo do seu estudo foi de definir um sistema de piso flutuante eficiente nas baixas frequências, adaptável às condições de carga e às características geométricas dos compartimentos onde serão instalados. Esse objetivo foi cumprido com base numa proposta de piso flutuante constituída por uma camada de revestimento de piso, assentado sobre um sistema de câmaras de ar em pressão (Figura 09) e acionado através de um compressor e manômetro/válvula, para controlar a pressão do ar no interior das câmaras e, conseqüentemente, a rigidez dinâmica do sistema.

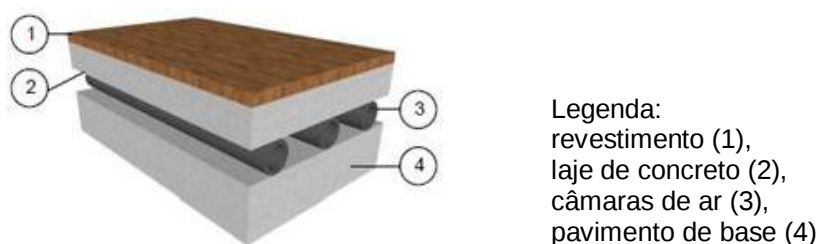


Figura 09 - Sistema de pavimento flutuante
Fonte: Lopes (2009).

O desafio colocado residuiu na definição de um sistema de piso flutuante capaz de alterar de forma simples, econômica e eficaz as suas características dinâmicas, adaptando-se por essa via, às cargas atuantes e às características acústicas dos espaços inferiores. Contudo, o autor constatou que o sistema proposto é eficiente do ponto de vista do isolamento antivibratório e sonoro, portanto, pode ser utilizado como um sistema semiativo de isolamento, que tem a vantagem de se adaptar ao comportamento modal que os

compartimentos exibem nas baixas frequências e pode provocar alterações na utilização do edifício ao longo da sua vida útil, principalmente se essas alterações forem das cargas estáticas instaladas.

Frías *et al* (2012) introduziram uma nova maneira de usar o pet coque⁶ como agregado leve em argamassa de cimento para fazer barreiras de som. A viabilidade de adição de coque de petróleo em matriz de cimento foi investigada. O comportamento acústico foi avaliado através da amostra de uma placa de argamassa de grande dimensão (feitas com cimento e coque de petróleo como agregado graúdo), utilizada como revestimento de pavimentos. A medição foi feita de acordo com o procedimento descrito em normas internacionais, de modo a obter o impacto no nível de pressão de ruído para a gama das frequências de 100 a 5000 Hz. A redução de ruído de impacto foi obtida e os resultados foram comparados com os obtidos experimentalmente com uma placa de argamassa de controle (feitas de cimento e areia).

Os resultados mostraram que a adição de coque leva a uma diminuição das propriedades mecânicas das argamassas resultantes, isto é, principalmente, devido a um aumento da porosidade (~ 60%). Também se constataram um aumento gradual de isolamento de ruídos de impacto, que foi observado nas amostras com adição de coque, caracterizado como piso leve, que abrangeu as frequências mais elevadas testadas, e uma melhoria do isolamento acústico em relação à amostra de controle (~ 14 dB).

Cho (2012) verificou a mudança da fluência induzida da rigidez dinâmica de materiais resilientes utilizados em sistemas de isolamento de vibração em piso flutuante. Esta mudança é um problema importante, especialmente no que diz respeito à utilização de materiais resilientes de células abertas, porque a mudança na rigidez dinâmica é um fator chave no desempenho dos isoladores de vibração, e materiais de células abertas são vulneráveis à fluência de deformação. Esse pode ser o caso do EVA material analisado na presente pesquisa que se caracteriza como um material resiliente. Esse estudo de Cho (2012) propôs um método para medir a mudança induzida por deformação da rigidez dinâmica, que empregou uma análise mecânica sob a suposição de que a deformação induzida e a alteração da estrutura mecânica do material resiliente são independentes do tempo e do esforço.

O estudo indicou que o método proposto é capaz de avaliar a mudança induzida por deformação à rigidez dinâmica e poderá ser útil para a concepção de sistemas de isolamento de vibrações no uso em longo prazo. Para validar o método proposto, foi

⁶ O coque de petróleo ou "pet coke" é um material de carbono altamente sólido que é um subproduto do processo de refinamento do petróleo. O coque de petróleo pode servir como fonte de energia ou fonte de carbono.

realizado um experimento que comparou a rigidez dinâmica pré-fluência e o fator de perda de dados medidos com o método proposto e com os dados obtidos através de um método muito semelhante ao recomendado pela norma ISO 9052-1.

Como um exemplo da aplicação do método proposto, um ensaio de fluência (Figura 10) foi realizado com uma camada de amostra resistente incluindo o material de célula aberta utilizada para um piso flutuante. A mudança induzida por deformação na rigidez dinâmica é avaliada através da combinação dos dados de medição proposto e os dados de teste de fluência.

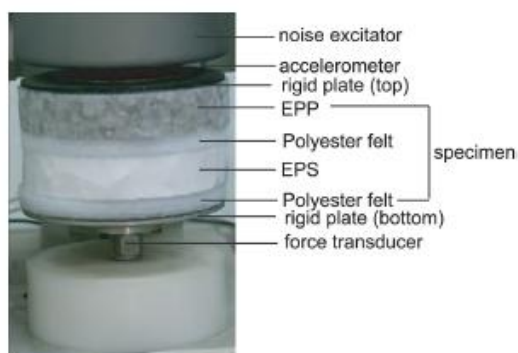


Figura 10 - Imagem da configuração de medição para o teste de compressão. Excitador de ruído + acelerômetro + placa rígida + amostra (EPP + feltro de poliéster + EPS + feltro de poliéster) + placa rígida e transdutor de força.

Fonte: Cho (2012).

O estudo indicou que a mudança induzida por deformação da rigidez dinâmica de materiais resilientes utilizados para pisos flutuantes, é difícil de medir com uma configuração massa-mola convencional, e que pode ser estimada com o método proposto. Esse método pode ser utilizado para simular a alteração da fluência induzida em longo prazo da rigidez dinâmica em combinação com o teste de previsão de fluência padrão. O método proposto pode ser utilizado para melhorar a concepção de sistemas de isolamento de vibração porque seria para estimar diretamente a variação de rigidez durante o uso em longo prazo, o que é considerado importante no isolador de vibração passiva, e ajudaria na escolha um material resiliente para um desejado nível desempenho sonoro.

Miskinis *et al* (2012) fizeram uma pesquisa com o objetivo de avaliar a influência do tamanho da amostra do piso flutuante na redução do nível de ruído de impacto padronizado ponderado. As amostras foram utilizadas de acordo com a norma ISO 10.140–1:2010 que determina as regras de aplicação de produtos específicos na medição em laboratório para o isolamento acústico de elementos da construção. A pesquisa foi feita em edifício real, em dois quartos - um acima do outro. O nível de ruído impacto padronizado ponderado da laje de concreto armado de 22 cm de espessura foi medido como referência e depois, o piso flutuante foi instalado. A lã de rocha colocada sobre a laje possui o valor de 5 cm de

espessura e 119 kg/m^3 de densidade. A rigidez dinâmica da lâ de rocha foi de 18 MN/m^3 , que foi medida no laboratório de acordo com LST Norma EN 29052-1.

Os resultados do teste mostraram forte dependência da redução do nível de ruído de impacto padronizado ponderado com o tamanho da amostra, sendo esta redução mais expressiva para placas flutuantes com área inferior a 2 m^2 . O tamanho da amostra com área maior ou igual a 10 m^2 é o melhor a ser utilizado, mas o problema é que a produção de grandes amostras é um processo caro e demorado. Assim, a maneira mais rápida e mais barata é usar tamanhos menores com área menor que 10 m^2 e realizar medições em edifícios reais, com condições de ensaio semelhantes aos do laboratório. Na pesquisa de Miskinis *et al* (2012) o tamanho da amostra de teste teve significativa influência nos resultados e foi de até 11 dB para a redução no nível de ruído de impacto. Foi concluído que quanto menor a área, menor o efeito do isolamento, quer dizer, se a área da placa flutuante do ensaio for maior, vai-se detectar uma melhor capacidade de isolamento para impacto.

Branco e Godinho (2013) completam dizendo que métodos de testes simplificados como estes, de usar amostras menores para depois utilizar amostras maiores, permitem a realização de um grande número de ensaios com custos relativamente baixos. Desta forma, é possível comparar diretamente o desempenho de um significativo número de possíveis soluções e em seguida, descartar aqueles com desempenho inferior. Sendo assim, os testes padrão, devem ser efetuados apenas nas soluções com resultados mais promissores.

Na metodologia do presente trabalho foi utilizado uma amostra de piso flutuante de 1 m^2 para comparar o resultado com pesquisas anteriores que também utilizaram esta mesma dimensão. Portanto, sabendo que o tamanho da amostra influencia nos resultados entre pisos simplificados e pisos totalmente revestidos, o intuito desta pesquisa é de fazer um comparativo entre as diferentes configurações de piso flutuante ensaiadas, todos para uma mesma área da placa, de modo a que este fator não introduza um erro na avaliação dos resultados das diferenças das configurações.

1.3.5 Alguns produtos disponíveis no mercado para tratamento do ruído de impacto

Para abordar sobre alguns produtos já disponíveis no mercado para tratamento do ruído de impacto em pisos dos edifícios há que se destacar que eles existem tanto no mercado nacional quanto no internacional. Na Espanha, por exemplo, há empresas que trabalham com atenuação de ruídos, através de estudos de isolamento acústico de alto desempenho, com medições acústicas, cálculos e análises de dados, atenuação de ruído

urbano, industrial e de máquinas, visando a todos os setores (construção, indústria, mídia e do ambiente).

Um exemplo de material fabricado por uma dessas empresas é o ACUSTILÁSTIC-N (Figura 11), que é um painel de borracha reciclada, utilizado para isolar vibrações e ruídos de impacto. Estes painéis são indicados para a construção de pisos flutuantes.

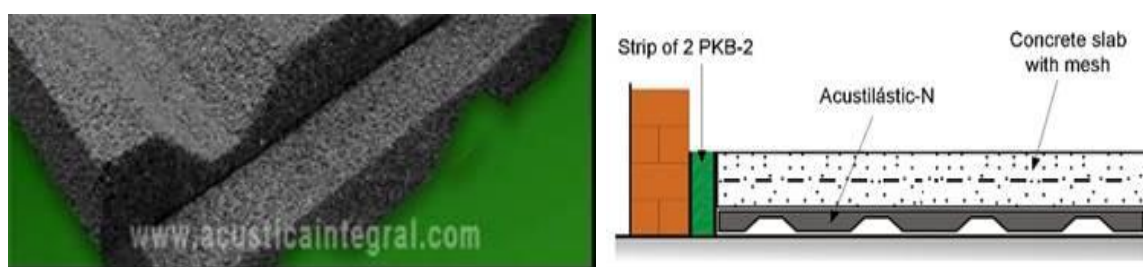


Figura 11 - Painéis ACUSTILÁSTIC-N e seu esquema de montagem

Fonte: http://www.acusticaintegral.com/acustilastic_n_en.html

Segundo o fabricante este material é avaliado através de testes e não apresenta rachaduras nem pontes acústicas inesperadas; é resistente aos agentes atmosféricos, ao fogo, tem durabilidade e é um produto reciclado e de fácil aplicação. Os painéis têm dimensões de 50 cm x 100 cm e tem espessura de 5 cm e peso de 20 kg. De acordo com seus dados técnicos divulgados no site (Figura 12) diz-se que a sua redução a 125 Hz de ruído de impacto é de 39 dB (segundo ensaio realizado em laje de concreto com 10 cm de espessura).

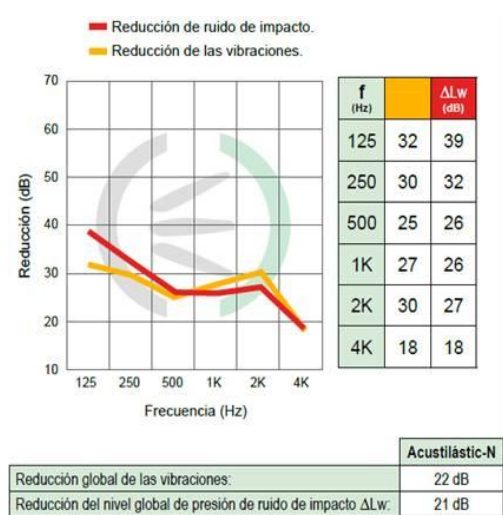


Figura 12 - Dados referentes ao isolamento do ruído de impacto.

Fonte: http://www.acusticaintegral.com/acustilastic_n_en.html

Outro exemplo de produto utilizado para o isolamento acústico é o DISTESO RADIANTE (Figura 13) fabricado na Itália. Esse produto é um painel de poliestireno com

função de isolamento térmico e acústico para pisos. Ele é pré-formado para a colocação de tubulações com rapidez e segurança; tem várias espessuras de 22 mm, 33 mm e 43 mm, acoplado a um poliestireno de 15 mm de espessura, com saliência em relevo e altura de 26 mm e seu tamanho total é de 1400 mm x 800 mm. De acordo com as suas especificações quanto a ruído de impacto, o site divulga que o isolamento para o painel com espessura de 22 mm é de 37,5 dB.

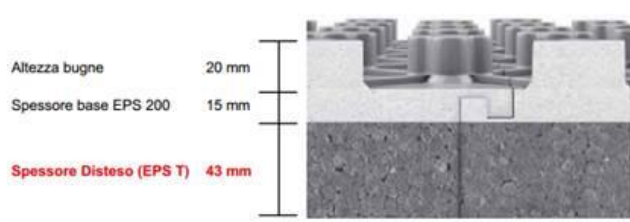


Figura 13 – Exemplo de um painel DISTESO RADIANTE.

Fonte: http://www.termolan.it/media/images/userimages/DISTESO/schede_tecniche/Scheda_tecnica_Disteso_Radiante.pdf

No Brasil, em São Paulo, há uma empresa que trabalha com venda, instalação e manutenção de pisos de madeira. Entre seus produtos encontra-se a manta perfurada (Figura 14) de cortiça e borracha reciclada com a função de isolamento térmico e acústico em pisos de madeira, o qual atende a NBR 15.575-3: 2008. As dimensões desse material são: 50 cm x 1500 cm (largura x comprimento) e 0,2 cm de espessura. A perfuração dessa manta, que pela facilidade e leveza em seu manejo, serve para aplicar a cola.



Figura 14 – Manta natural para reduzir ruído de impacto.

Fonte: http://www.parquetssp.com.br/manta_acustica_mt41.asp

No Brasil, outro exemplo é de uma indústria de Minas Gerais, que utiliza tecnologia europeia para produzir o IMPACTSOFT (Figura 15), que é uma linha completa de manta para piso inserida no campo da reciclagem da borracha, com a função de isolar o som e são recomendadas para uso em edifícios comerciais e residenciais, baseando-se no conceito Massa-Mola-Massa. Tais mantas acústicas são produzidas com grânulos de pneus reciclados, apresentam densidade constante, alta durabilidade e fácil aplicação, para solucionar os problemas de ruídos mais comuns em prédios de apartamentos e casas de múltiplos andares.

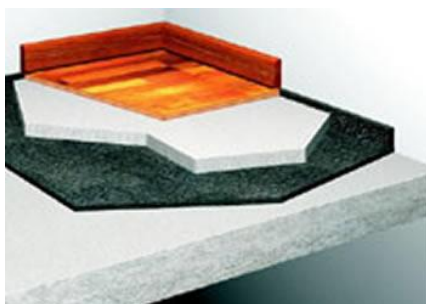


Figura 15 – Manta acústica IMPACTSOFT

Fonte: <http://www.isar.com.br/produtos/isolamento-acustico>

A tecnologia visa revestir todo o contrapiso de forma que os ruídos de impactos no piso sejam isolados pela manta acústica, a qual tem alta densidade. Outro fator importante é que o produto é ecológico e não se estraga com a umidade. Essas mantas são vendidas em bobinas de 1,30 m x 20 m, com espessura de 3 mm, entretanto também podem ser encontradas com 5 mm de espessura, que são vendidas em bobinas de 1,30 m x 10 m. De acordo com o fabricante para pavimento sem a manta, o nível de pressão sonora padronizada é de 72 dB, e com a manta, é de 58 dB, uma diferença de 14 dB. O fabricante não informa o tipo de laje utilizada no ensaio (Figura 16).

Freq. Hz	L'nT (db referente a 20µPa)	
	SEM TRATAMENTO	SOUND SOFT 5mm
100	55	54
125	59	58
160	61	59
200	59	58
250	62	61
315	66	62
400	66	64
500	65	63
630	67	61
800	67	58
1000	66	56
1250	66	53
1600	66	50
2000	66	47
2500	65	43
3150	65	39
4000	63	35
5000	62	30
L'nT,W	72	58

Figura 16 – Dados do piso ecológico IMPACTSOFT da AUBICON.

Fonte: <http://www.aubicon.com.br/site2010/index.php?q=produtos/mantas-acusticas>

Em João Pessoa-PB, é recente a inserção de materiais que visam à atenuação de ruídos entre pavimentos nos edifícios com vários andares. Em um edifício em construção, foi constatada a presença de um produto fabricado no Ceará, chamado de JOONGBLOCK, que

é uma manta isolante acústica para piso, confeccionada com espumas de polietileno de baixa densidade, disponível no mercado com espessura de 5 mm ou 10 mm e densidade entre 24 kg/m^3 e 30 kg/m^3 .

Esses são alguns dos produtos encontrados durante a presente pesquisa, que enfatizam a preocupação com a acústica nas edificações. Convém destacar que essa questão é de grande importância para a qualidade das construções e que esse é um ramo de atividade que aceita diversos materiais para solucionar problemas acústicos. Entre eles, os resíduos, dependendo de suas características, apresentam-se com potencial de solução a ser aplicada, comparando-se com materiais industrializados produzidos para esse fim. Então, com a utilização desses resíduos, tanto pode melhorar o custo benefício quanto contribuir para a preservação do meio ambiente.

1.4 Estudos sobre o aproveitamento de EVA em piso flutuante

Garlet (1998), em um de seus estudos, abordou a questão do aproveitamento de resíduos de EVA na construção civil. O resíduo estudado foi proveniente da indústria de calçados da região do Vale dos Sinos (RS). Tal resíduo foi triturado em um moinho de facas, obtendo-se um agregado de EVA com determinada granulometria.

Segundo Garlet (1998), as aplicações e as vantagens possíveis na construção civil para o uso de compósitos cimentícios leves obtidos a partir de agregados de EVA podem ser: enchimento para lajes rebaixadas, isolamento acústico entre pavimentos, isolamento térmico nas lajes de forro, entre outros. Ele também evidenciou a grande potencialidade desse resíduo para ser usado em diversos componentes e sistemas na construção civil, sem função estrutural, por entender que ele tem baixa massa específica, boas características acústicas e térmicas, é estável, inerte, não suscetível a fungos e pode ser aproveitado como agregado sintético para a elaboração de compósitos leves. A proposição relativa ao isolamento acústico entre pavimentos é destacada como algo de interesse na presente pesquisa.

Depois dos estudos desenvolvidos por Garlet (1998), o aproveitamento de resíduos de EVA no setor da construção civil continuou sendo pesquisado no Rio Grande do Sul, região que concentra um grande número de indústrias de calçados no Brasil e onde já existe uma empresa (MAISON Indústria e Comércio de Artefatos de Cimento Ltda) que beneficia os resíduos sintéticos da indústria de calçados para produzir agregados leves (BEZERRA, 2002).

Hax (2002) apontou um caminho para reduzir o impacto ambiental produzido pelos aterros e pelos depósitos de resíduos oriundos da indústria calçadista, que gera o resíduo de EVA. Em sua pesquisa, foi utilizado esse resíduo como material resiliente na composição dos sistemas de pisos flutuantes, totalizando 34 amostras. Algumas com acabamento do contrapiso em cerâmica, e outras, em madeira, juntamente com os materiais resilientes no sistema, como, por exemplo: lã de vidro, EVA inteiriço (Figura 17), EVA granulado e EVA com aglomerantes variados (cimento, resina fenólica, cola PVA, resina sintética e com asfalto).

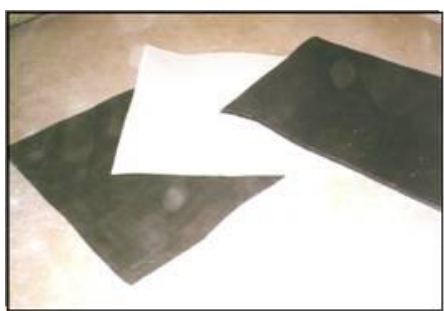


Figura 17 – EVA inteiriço
Fonte: Hax (2002).

Hax (2002) verificou o potencial do resíduo de EVA no isolamento de ruído de impacto nas edificações. O material foi granulado e moldado em placas, com diversas espessuras e composições, que foram testadas em laboratório para a verificação de desempenho. Foram comparados os desempenhos das diferentes placas de material alternativo, com o intuito de determinar a composição que oferecesse o melhor resultado para o isolamento de ruído de impacto nas edificações.

Nas amostras com aglomerantes, foram adotados traços e utilizados granulometrias diferentes dos agregados de EVA. Além disso, os sistemas de piso flutuante consideraram materiais resilientes com espessuras de 15 mm e 25 mm. O estudo cumpriu o objetivo de estabelecer o potencial do resíduo de EVA quando aplicado em um sistema de piso flutuante para atenuar ruídos de impacto, como um material resiliente, que se apresenta como uma proposta ecologicamente correta.

Hax (2002) enuncia que, entre todas as amostras ensaiadas para o sistema de piso flutuante proposto com acabamento em soalho de madeira, verificou-se que as amostras de EVA granulado (sem aglomerante) e de EVA com resina sintética como aglomerante obtiveram os melhores desempenhos. Ambas as amostras, com espessura das placas igual a 25 mm, apresentaram ganhos de isolamento na ordem de 14 dB, em relação à amostra referencial, cujo acabamento em soalho de madeira era diretamente apoiado na laje

suporte, sem camada de material resiliente (elástico). As duas amostras obtiveram ganhos de isolamento superiores à lã de vidro ($e = 25$ mm; densidade = 100 kg/m^3), na composição de piso flutuante, com uma diferença de 2 dB entre elas. Nas amostras de piso flutuante com acabamento em placa cerâmica, os ganhos em isolamento foram inferiores à lã de vidro, mas chegaram a 22 dB, para a EVA com resina fenólica, e a 21 dB, para a composição EVA com cola PVA e EVA com resina sintética. Em sua pesquisa, Hax (2002) concluiu que, dependendo do tipo de acabamento do sistema de piso flutuante, obtêm-se diferentes desempenhos para cada amostra de placa de EVA (Figura 18).

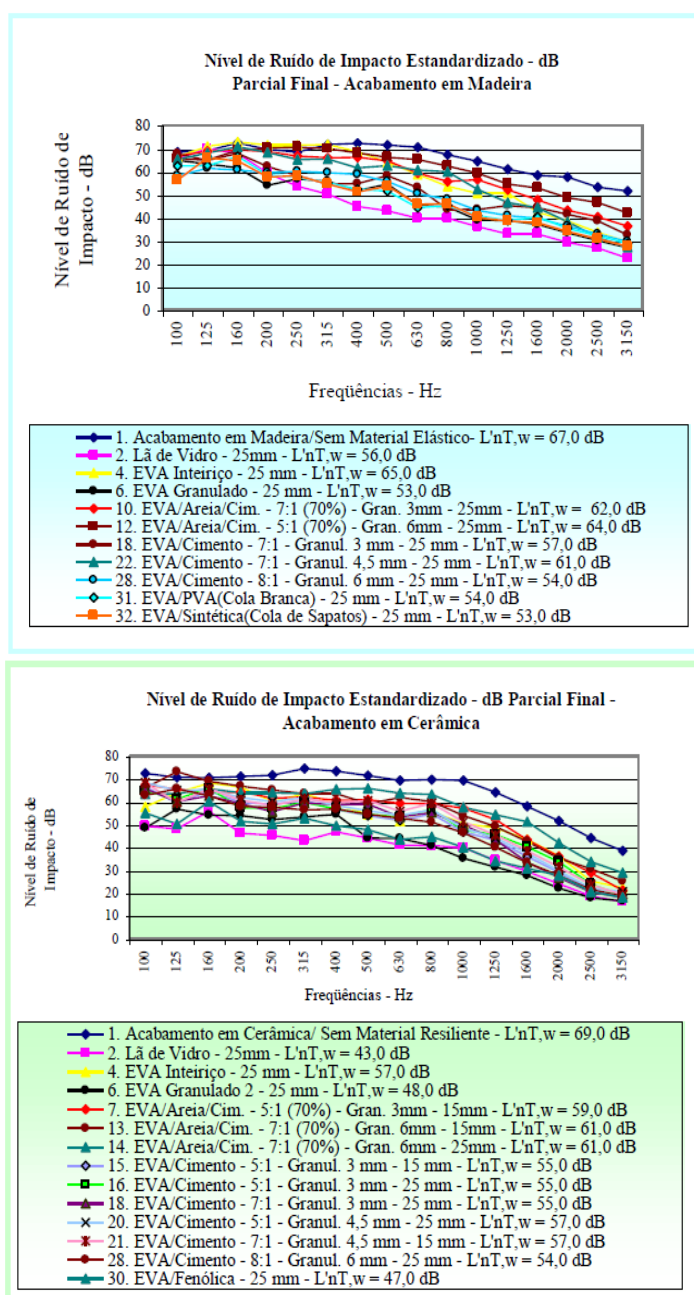


Figura 18 - Nível de Ruído de Impacto com acabamento em madeira e em cerâmica
Fonte: Hax (2002).

Ela verificou que os sistemas de pisos flutuantes em que o acabamento foi feito com placa cerâmica obtiveram resultados superiores, devido ao fato de a densidade do conjunto ser maior, obedecendo ao princípio Massa – Mola – Massa e concluiu que quanto maior a espessura do material resiliente, melhor é o desempenho acústico, e quanto maior o teor de EVA nas formulações, melhor é o comportamento acústico da amostra. Então, foi sugerido que se estudasse a fluência do EVA sob carregamento para verificar a possível deformação das amostras testadas.

Santos (2005) pesquisou o potencial do agregado de EVA obtido do resíduo granulado como absorvente sonoro, em que foram confeccionadas placas de quatro centímetros de espessura, utilizando-se o cimento Portland como aglomerante. O granulado foi retido na peneira de malha de 6 mm, e o traço utilizado foi de 1:5 (cimento: granulado EVA), com pequena prensagem. A absorção sonora desse material ocorreu, basicamente, em razão das cavidades que se formaram nos agregados de EVA e do atrito do ar nesses orifícios. O desempenho como absorvente ocorreu nas médias e nas altas frequências, como demonstrado nos resultados dos ensaios realizados (Figura 19).

Frequência (Hz)	Alfa Sabine	Frequência (Hz)	Alfa Sabine	Frequência (Hz)	Alfa Sabine	Frequência (Hz)	Alfa Sabine
100	0,03	315	0,21	1000	0,68	3150	0,53
125	0,13	400	0,21	1250	0,72	4000	0,72
160	0,13	500	0,34	1600	0,74	5000	0,72
200	0,11	630	0,37	2000	0,58	6300	0,72
250	0,18	800	0,48	2500	0,63	8000	0,72

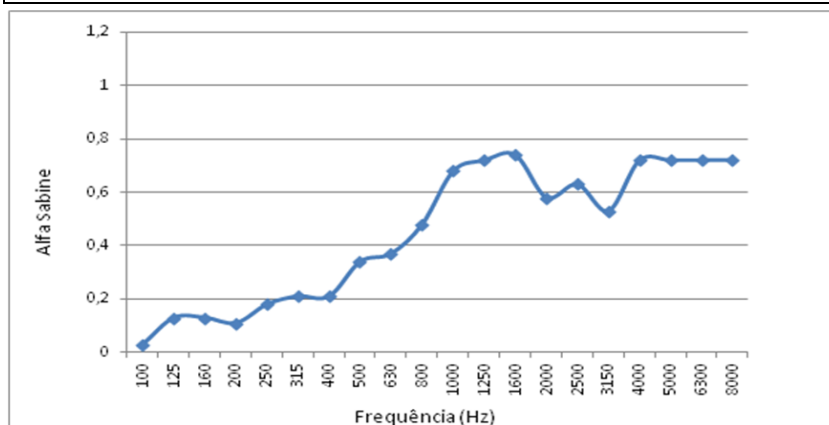


Figura 19 – Resultados do ensaio da amostra EVA granulada, aglomerado com cimento e coeficiente de absorção sonora.

Fonte: Santos (2005).

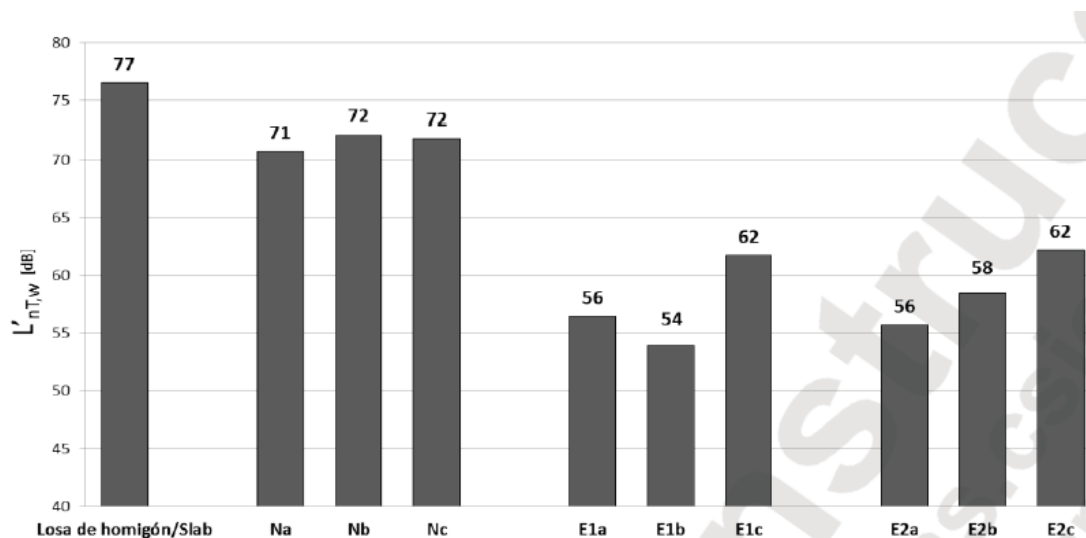
De acordo com Santos (2005), existem, no mercado, produtos industrializados e comercializados para fins acústicos. Os mais conhecidos são os oriundos das espumas flexíveis de poliuretano, e os originais, de fibras sintéticas, como lã de vidro. Portanto, para o material alternativo proposto à base de resíduo de EVA, espera-se que a pesquisa possa

caracterizá-lo com desempenho igual ou superior aos materiais conhecidos para que possa ser inserido no mercado da construção civil como um produto adequado.

Pedroso (2007) realizou uma análise comparativa entre as modernas composições de pisos flutuantes compostos pela interposição de material elástico entre a laje e o revestimento final. Os materiais elásticos utilizados foram os disponíveis no mercado, como: lã de vidro, mantas de borracha reciclada (resíduos de EVA), isopor de alta densidade e manta de polietileno. Foi averiguado com esses sistemas (15 no total) o desempenho dessas composições, quanto ao isolamento do ruído de impacto. Alguns utilizaram porcelanato e, em outros, laminado melamínico de madeira, como revestimentos finais. Nos ensaios foi utilizada a laje estrutural de entre piso com espessura de 12 cm, sem revestimento para servir como referência, e comparou com amostras de manta de borracha reciclada (EVA), conhecida, comercialmente, como rubberflex, cuja espessura era de 8,0 mm, e a densidade, de 130 kg/m³. Foi utilizada também a manta de borracha reciclada, conhecida, comercialmente, como densiflex, de espessura de 4,0 mm e densidade de 260 kg/m³. O sistema montado com rubberflex apresentou um bom desempenho nas frequências até o patamar de 3150 Hz, quando voltou a se igualar ao sistema de referência. O desempenho da densiflex chegou a ser inferior ao desempenho da rubberflex, devido a sua menor elasticidade.

Dentre as sugestões feitas na pesquisa de Pedroso (2007) destaca-se aquela que recomenda um estudo do desempenho acústico do ruído de impacto “*in situ*” dos diversos materiais testados em seu trabalho. Ficou comprovado que a lã de vidro é o material resiliente mais eficaz, com o melhor rendimento absoluto ($L'_{n,w}$) e o melhor desempenho de isolamento do ruído de impacto em todas as frequências (Figura 28). Há uma melhoria de 4 dB no desempenho acústico absoluto da lã de vidro, quando usada com o revestimento de porcelanato comparado com a utilização do laminado melamínico de madeira. Por outro lado, constatou que há uma melhoria de 3 dB no desempenho acústico absoluto do rubberflex (manta de borracha reciclada – EVA), quando utiliza o porcelanato como revestimento comparado com a utilização do laminado melamínico de madeira.

Leal *et al* (2012) avaliaram o desempenho acústico do concreto com resíduos de copolímero de etileno acetato de vinilo (EVA) para reduzir ruídos impactos em pisos, foram avaliados três tipos de concreto (Figura 20). O método adotado incluiu a caracterização de absorção de água e de índice de vazios da densidade nas amostras.



Na,Nb,Nc (agregados naturais) E1a,E1b, E1c (EVA 1- sem pó) E2a, E2b, E2c (EVA 2 – com pó).

Figura 20 - Nível de ruído de impacto ponderado padronizado das amostras.

Fonte: Leal *et al* (2012).

O estudo experimental do ruído de impacto seguiu as recomendações da ISO 140-7:1998. Os resultados indicaram que o concreto leve com EVA reciclado reduz o ruído de impacto de 15 dB e que a porcentagem mais elevada de agregado de EVA graúdo não aumenta o desempenho acústico.

Portanto, como visto nas pesquisas acima o aproveitamento desses materiais (resíduos de EVA) com a possibilidade de serem usados para correção acústica se enquadra como uma proposta de sociedade moderna autossustentável, cujo grande desafio é de racionalizar o uso da energia, respeitar o meio ambiente e utilizar recursos renováveis nos processos de industrialização.

CAPÍTULO 2

PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

2.1 Coleta do resíduo de EVA

Os resíduos de EVA foram coletados de uma indústria de calçados do Estado da Paraíba. Eles se apresentaram na forma de retalhos, como observado na Figura 21.



Figura 21 – Resíduos de EVA coletados em forma de retalhos
Fonte: Acervo pessoal

2.1.1 Definição das amostras de resíduo de EVA a serem avaliadas

Após a coleta foi realizado o beneficiamento do resíduo de EVA, a partir do processamento do material em moinho de facas rotativas para se obterem agregados com diâmetro máximo característico igual a 4,8 mm (Figura 22).



Figura 22 – Moinho de facas rotativas e agregados de EVA com diâmetro máximo característico igual a 4,8 mm

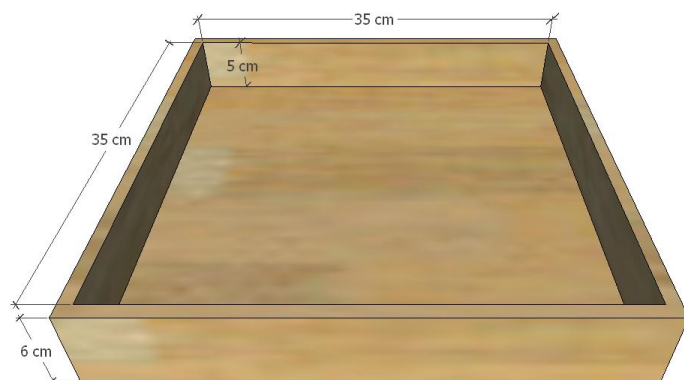
Fonte: Acervo pessoal.

2.2 Confeção de fôrmas para aglomerar o resíduo de EVA

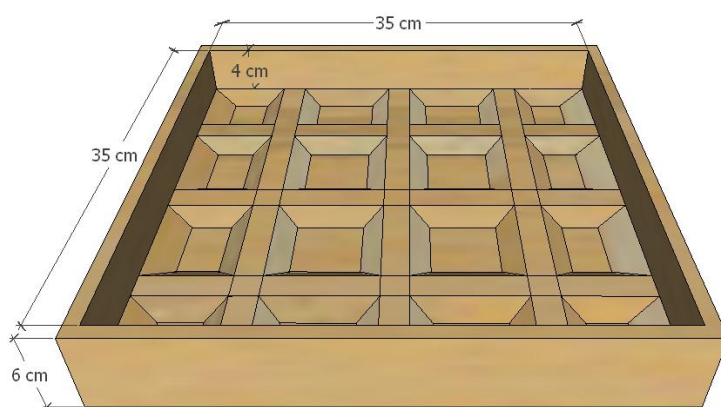
Para a obtenção das amostras de EVA aglomerado, em formatos de placas (35 cm x 35 cm), foram confeccionadas fôrmas em madeira, cuja base foi feita com madeira plastificada, as laterais eram removíveis e, visando a uma fácil desforma, foram utilizados parafusos e porcas do tipo borboletas. Foram confeccionados três tipos de fôrmas com características diferenciadas:

- A forma para a fabricação da placa EVA_ar0, tem base sem relevos, que resultou em uma placa lisa de 2,5 cm de espessura.
- A forma para a fabricação da placa EVA_ar1, tem relevo de 1 cm de altura que resultou em placas com bolsões de ar de 1 cm e 3,5 cm de altura total da placa.
- A forma para a fabricação da placa EVA_ar2,5, tem relevos de 2,5 cm de altura, que gerou placas com bolsões de ar de 2,5 cm de altura e um total de 5 cm de altura da placa.

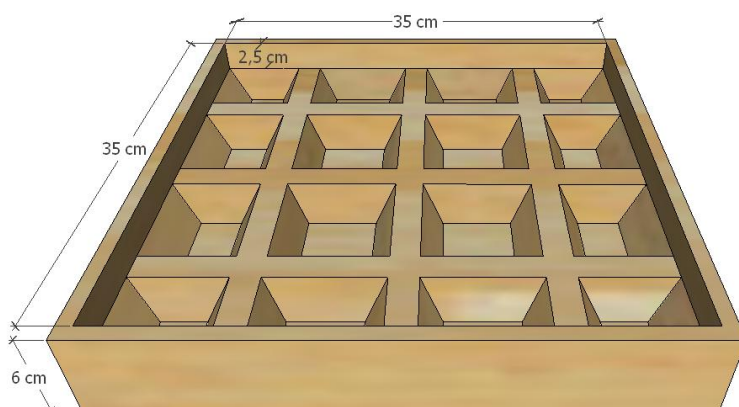
Abaixo, seguem as imagens: do desenho esquemático com as dimensões das fôrmas (Figura 23), as fôrmas prontas (Figura 24) e o desenho das placas (Figura 25).



Fôrma para placa EVA_ar0



Fôrma para a placa EVA_ar1



Fôrma Tipo "C"

Figura 23 – Desenhos esquemáticos das fôrmas
Fonte: Elaboração própria.



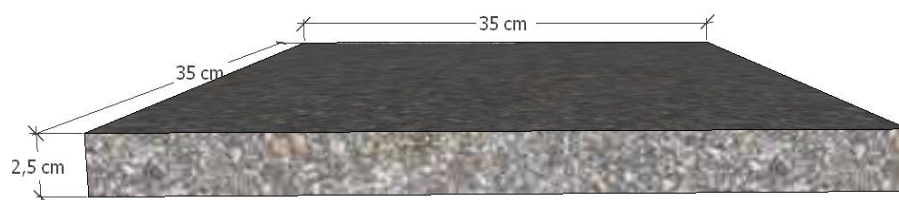
Forma EVA_ar0

Forma EVA_ar1

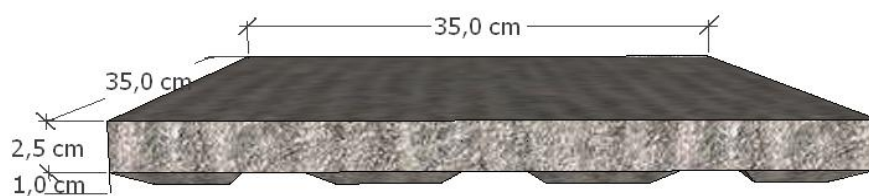
Forma EVA_ar2,5

Figura 24 – Fôrmas prontas

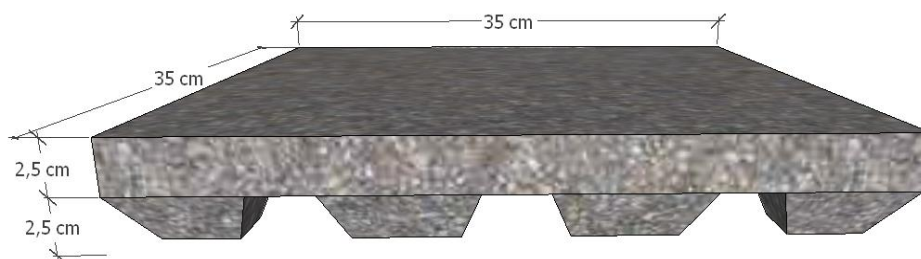
Fonte: Acervo pessoal



Placa EVA_ar0



Placa EVA_ar1



Placa EVA_ar2,5

Figura 25 – Desenho das placas

Fonte: Elaboração própria.

2.3 Definição dos aglomerantes das placas

O método de confecção das placas teve como aglomerante o cimento CP II-F 32. Foi adotada a dosagem 1:5 (cimento: EVA) em volume. Esse traço de cimento e de EVA foi escolhido de acordo com os resultados positivos obtidos por essa dosagem no estudo de Hax (2002), pois o EVA, quando aglomerado com areia e cimento, independentemente do traço e do diâmetro médio dos grãos, não apresentou desempenho satisfatório como material resiliente.

Para cada dosagem, foram moldadas 10 placas de cada tipologia (total de 30 placas). Nos ensaios de piso flutuante, para cada amostra ensaiada, foram utilizadas nove placas de cada tipo, considerando a área do piso de ensaio 1,05 m x 1,05 m.

A densidade do compósito cimento: EVA foi calculada através do método descrito no estudo de Bezerra (2003), a partir da determinação da densidade de uma amostra confeccionada em forma de cubos de concreto leve, utilizando a seguinte equação:

$$\rho_{AP} = \frac{m\rho_{H_2O}\rho_{Parafina}}{M'\rho_{Parafina} - m_{Parafina}\rho_{H_2O}} \quad (\text{Equação 05})$$

Onde:

ρ_{AP} = densidade aparente da amostra (kg/m³);

$\rho_{Parafina}$ = densidade da parafina (kg/m³);

ρ_{H_2O} = densidade da água na temperatura do experimento (kg/m³);

m = massa do bloco (kg);

$m_{Parafina}$ = massa da parafina que impermeabiliza a amostra (kg);

M' = massa de água deslocada pela amostra (kg).

Bezerra (2003) utilizou o método da densidade aparente usando água, parafina e a amostra do material em forma de cubos, de tal forma que permitisse ensaiar a amostra tal como foram retiradas dos blocos, sem triturá-las, necessitando apenas que fossem impermeabilizadas. Abaixo, segue a imagem de um cubo (2,5 cm x 2,5 cm x 2,5 cm) retirado de uma das placas das amostras e impermeabilizado com parafina (Figura 26).



Figura 26 – Cubo impermeabilizado com parafina.
Fonte: Acervo pessoal.

2.4 Processo de moldagem das placas

O processo de moldagem das amostras de EVA aglomerado, em forma de placas, foi realizado no Laboratório de Ensaio de Materiais e Estruturas, no Centro de Tecnologia da Universidade Federal da Paraíba (LABEME-CT-UFPB).

A mistura dos materiais foi executada em uma betoneira com capacidade para 120 litros e de eixo inclinado. A ordem de colocação dos materiais obedeceu ao que foi proposto por Garlet (1998), que apresentou uma boa homogeneização dos materiais. A ordem de colocação dos materiais na betoneira foi a seguinte:

- Primeiramente, foi depositado o agregado de EVA, adicionando-se 1/3 (500 ml) da água de amassamento; ligou a betoneira e esperou cerca de um minuto para uma adicional absorção de água pelo agregado;
- Com a cuba em movimento, adicionou o cimento e esperou mais dois minutos;
- Em seguida, foi adicionado o restante da água (1000 ml) e foi aguardado mais três minutos (fator água/cimento = 0,38).

Após a homogeneização da mistura, o conteúdo foi colocado nas fôrmas, que passaram por um processo de vibração na mesa vibratória (três vezes de cinco segundos cada), para se ter um melhor adensamento do material dentro do molde. Em seguida, as fôrmas foram preenchidas com o material e levadas para a prensa hidráulica, onde o conjunto recebeu uma carga de 300 kg. Essa carga foi definida de acordo com o limite que as fôrmas suportaram sem se danificar (Figura 27).



Figura 27 – Mesa vibratória e prensa hidráulica.
Fonte: Acervo pessoal.

A técnica de prensar é importante para reduzir a quantidade de cimento e faz com que o material fique mais resiliente. Então, foi utilizada a prensagem tendo como base o estudo de Silva *et al* (2012) que produziram placas nas dimensões de 18 x 16 x 3,0 cm com resíduos de EVA de traço 1:6 (cimento:agregado EVA) e fator água/cimento em 0,55 (Figura 27). Eles utilizaram uma prensa hidráulica de 30 toneladas e moldes confeccionados com chapas de aço e a tensão de prensagem utilizada foi fixa e igual a 1,65 MPa, isto é 475,20 kg de carga recebida pela placa. O estudo de Silva *et al* (2012) teve como objetivo verificar a resistência mecânica de elementos construtivos para forros e divisórias, a partir de matrizes cimentícias com incorporação de resíduos industriais (resíduo cerâmico, etil vinil acetato – EVA) e fibras de sisal. Esta placa (Figura 28) foi chamada de EVA_ar0+d e foi utilizada na presente pesquisa para fins de comparação com as placas fabricadas nesse estudo.



Figura 28 – Placas cimentícias.
Fonte: Acervo pessoal.

Depois da etapa de prensagem com aplicação de carga, imediatamente, o conjunto fôrmas e material foram envolvidas em um plástico escuro para garantir que a água da mistura não evaporasse. Em seguida, cada conjunto foi levado para uma câmara úmida, onde permaneceu por um período de 24 horas. Depois desse período, as placas foram desenformadas e levadas para um tanque, no qual ficaram imersas em água saturada com cal, durante 28 dias, para completar o processo de cura (Figura 29).



Figura 29 – Câmara úmida e tanque
Fonte: Acervo pessoal.

A seguir, as imagens das placas prontas, após o processo de cura (Figura 30, 31 e 32):



Figura 30 - Placa EVA_ar0 - base de superfície plana.
Fonte: Acervo pessoal.



Figura 31 - Placa EVA_ar1 - base com relevo e bolsões de ar de 1 cm de altura
Fonte: Acervo pessoal.



Figura 32 - Placa EVA_ar2,5 – base com relevo e com bolsões de ar de 2,5 cm
Fonte: Acervo pessoal.

2.5 Preparação dos pisos flutuantes

Primeiramente, visando o comparativo, foi definido o sistema de referência chamado de REF. (Figura 33) composto pelo contrapiso com traço 1:4 (cimento: agregados areia) 4 cm de espessura e 1 m² de superfície, revestido com placa cerâmica 34 cm x 34 cm (PEI 4), fixadas com argamassa colante tipo AC II e rejuntada com cimento branco. Esse contrapiso foi utilizado depois de passar pelos 28 dias para sua cura e depois foi apoiado na laje suporte (pré-moldada convencional), sem material resiliente entre ele e a laje.

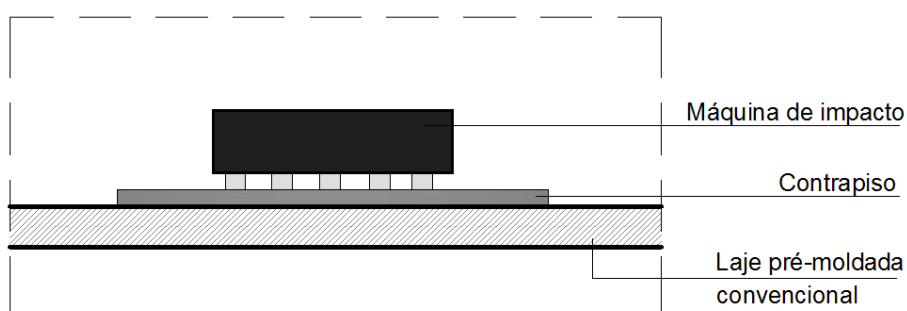
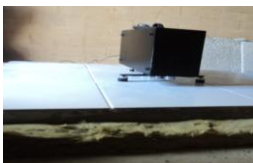
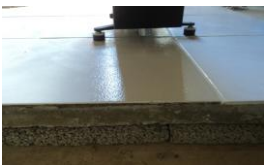


Figura 33 – Esquema do sistema REF. com o desenho da máquina de impacto apoiada sobre ele.
Fonte: Elaboração própria.

Os ensaios posteriores foram feitos compondo-se por um sistema de piso flutuante com o mesmo contrapiso e a mesma laje, o que permitiu a troca das camadas resilientes entre eles. Os materiais utilizados como camada resiliente estão discriminados na Tabela 05 com as nomenclaturas e as cores destacadas que também serão correspondentes nos resultados expostos no Capítulo 3 e nos apêndices deste trabalho.

Tabela 05 – Especificações de cada sistema de piso flutuante

AMOSTRA	ESPECIFICAÇÃO DO SISTEMA	
REF.	 Contrapiso (4 cm) com revest. cerâmico Laje pré-moldada convencional (10 cm)	
LR	 Contrapiso (4 cm) com revest. cerâmico Lã de rocha (5 cm) densidade= 64 kg/m³ Laje pré-moldada convencional (10 cm)	
MA	 Contrapiso (4 cm) com revest. cerâmico Manta acústica (1 cm) densidade= 30 kg/m³ Laje pré-moldada convencional (10 cm)	
EVA_ar0	 Contrapiso (4 cm) com revest. cerâmico Placas EVA_ar0 (2,5 cm) d= 626,82 kg/m³ Laje pré-moldada convencional (10 cm)	
EVA_ar1	 Contrapiso (4 cm) com revest. cerâmico Placas EVA_ar1 (3,5 cm) d=592,91 kg/m³ Laje pré-moldada convencional (10 cm)	
EVA_ar2,5	 Contrapiso (4 cm) com revest. cerâmico Placas EVA_ar2,5 (5 cm) d= 504,78 kg/m³ Laje pré-moldada convencional (10 cm)	
EVA_ar0+d ₁	 Contrapiso (4 cm) com revest. cerâmico Placas EVA_ar0+d (2,5 cm) d= 653,06 kg/m³ Laje pré-moldada convencional (10 cm)	

Fonte: Elaboração própria

¹ Nesse sistema foram utilizadas as placa de EVA do estudo de Silva et al (2012) gentilmente cedida pelo Professor Dr. Antônio F. Leal (UFPB)

As densidades das amostras EVA_ar0 e EVA_ar0+d foram calculadas dividindo o peso pelo seus respectivos volumes, resultando para a amostra EVA_ar0 um valor de 626,82 kg/m³ e para a amostra EVA_ar0+d um valor de 653,06 kg/m³. Para o cálculo das amostras com bolsões de ar na parte inferior das placas (EVA_ar1 e EVA_ar2,5), o resultado foi obtido dividindo a massa pelo volume de cada amostra respectivamente, considerando os bolsões de ar no cálculo dos volumes correspondentes a cada sistema de material resiliente (conjunto entre material sólido e bolsões de ar). Portanto, a placa EVA_ar1 obteve densidade de 592,91 kg/m³ e a placa EVA_ar2,5 obteve densidade de 504,78 kg/m³.

2.6 Procedimentos do ensaio de impacto em piso flutuante em laboratório

2.6.1 Descrição da câmara acústica

Os ensaios de ruído de impacto foram realizados em uma câmara de emissão e recepção (câmara acústica) do ruído de impacto existente no LABEME-CT-UFPB (Laboratório de Ensaio de Materiais e Estruturas da Universidade Federal da Paraíba) construída em solo cimento, coberta com madeiramento e telha canal (Figura 34).

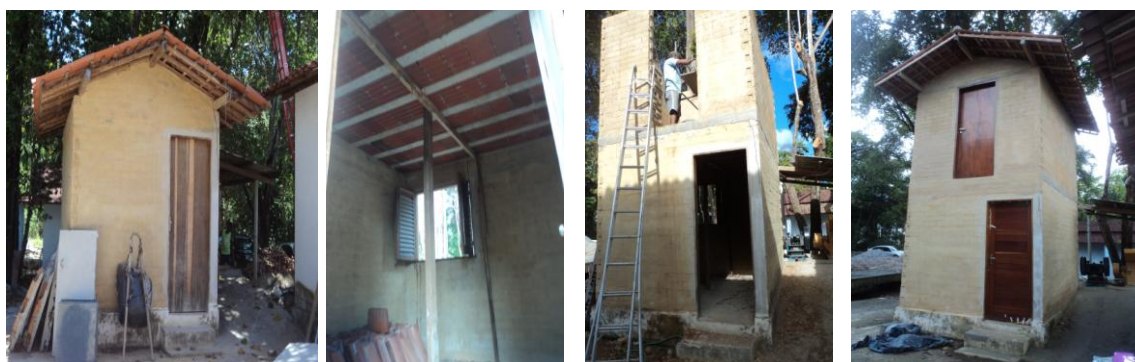


Figura 34 – Reforma e ampliação do protótipo para construir a câmara acústica.
Fonte: Acervo pessoal.

A câmara acústica foi preparada a partir de uma reforma realizada num protótipo construído em 2007 com blocos de solo cimento. Basicamente a reforma teve como objetivo ampliar o antigo protótipo para que se apresentasse com dois pavimentos sobrepostos,

separados por uma laje pré-moldada convencional de 10 cm de espessura. A câmara de emissão de ruído (pavimento superior) tem uma área de $6,87 \text{ m}^2$, com pé-direito de 2,30 m, resultando em um volume de $15,80 \text{ m}^3$. A câmara de recepção (pavimento inferior) tem a mesma área ($6,87 \text{ m}^2$), pé-direito 2,43 m e com volume de $16,70 \text{ m}^3$ (Figura 35).

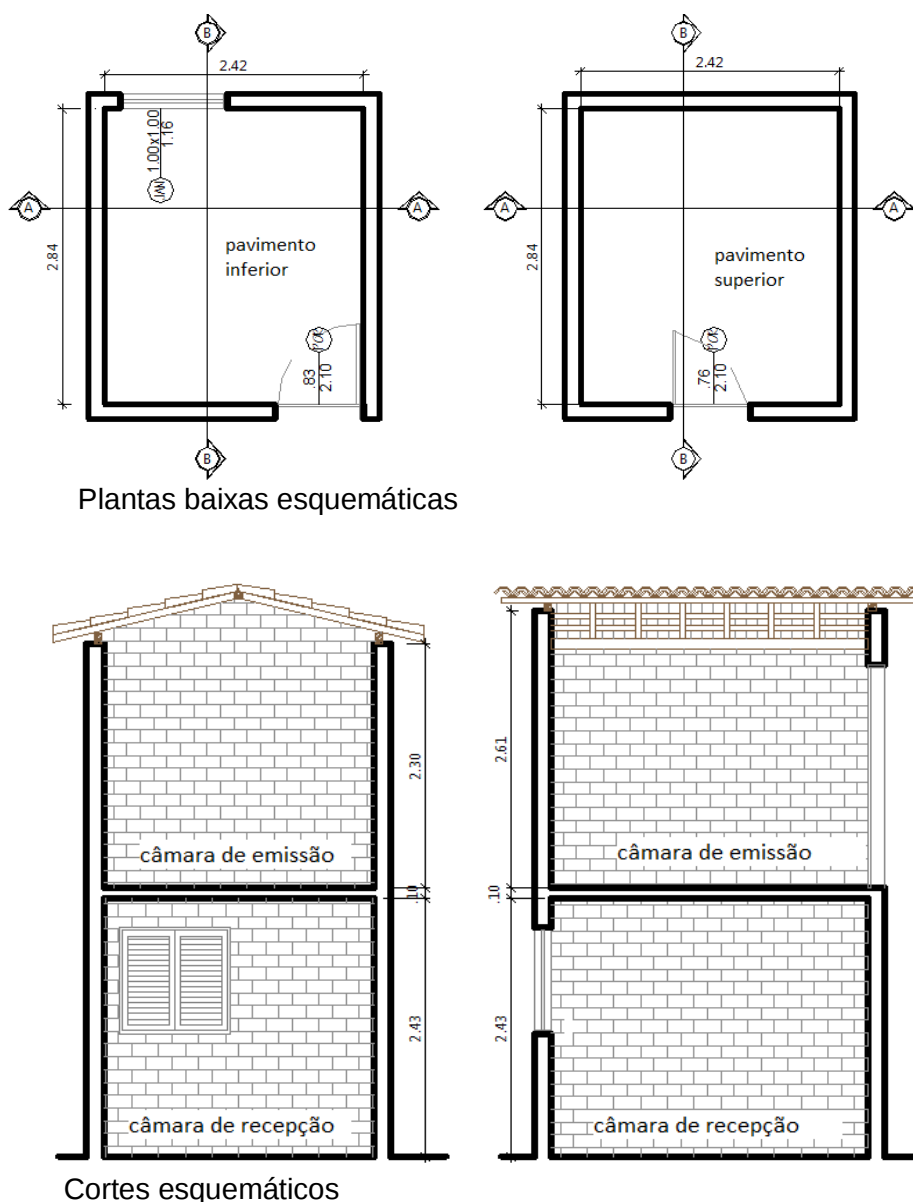


Figura 35 - Plantas baixas e Cortes esquemáticos da câmara de emissão e de recepção do ruído de impacto.

Fonte: Acervo pessoal.

O acesso à câmara de emissão foi feito através de uma escada comum de alumínio externa, que permite alcançar a porta de madeira. O acesso à câmara de recepção foi feito

por uma porta de madeira dupla maciça, localizada no mesmo lado. A porta e a janela existentes no pavimento inferior (câmara de recepção) foram vedadas com chapa de compensado sobre espuma para isolar a área interna dos ruídos externos. A janela foi vedada com compensado sobre espuma (na parte interna do ambiente) e compensado na parte externa da câmara e na porta de acesso da câmara de recepção do ruído foi fixada espuma ao redor de sua folha (Figura 36).



Figura 36 – Detalhe das vedações nas esquadrias.

Fonte: Acervo pessoal.

Para verificar a eficácia da câmara foram feitas três medições:

1. Ruído externo (fora da câmara): medido sem a máquina geradora do ruído estar funcionando e o valor que se obteve foi de 56 dB.
2. Ruído de fundo (dentro da câmara): medido sem a máquina geradora estar funcionando e o valor deu 34 dB.

Então, com a diferença dos valores o isolamento da câmara foi de 22 dB. Depois o nível de ruído foi medido do lado de fora da câmara com a máquina de impacto funcionando e resultou em 71 dB diminuindo os 22 dB de isolamento resulta em um valor de 49 dB.

Por tanto, a diferença entre esse valor encontrado (49 dB) com o ruído medido dentro da câmara de recepção com a máquina funcionando que foi de 59,5 dB têm-se 9,5 dB de diferença estando próximo do limite aceitável (10 dB) para que não haja interferência de transmissão pelos flancos na avaliação dos ruídos de impacto medidos na câmara. Segundo Neto (2006) esta transmissão é uma das causas que podem explicar as falhas nas

análises do isolamento sonoro, em edificações, por ser chamada de “transmissão por flancos”, entre os ambientes de emissão e a recepção do ruído. Esse é um tipo de transmissão que não envolve exclusivamente o elemento separador entre dois ambientes, mas se refere a todos os caminhos de transmissão da energia sonora.

2.6.2 Normalização para o ensaio de ruído de impacto

Os procedimentos dos ensaios de isolamento de ruído de impacto foram determinados pela Norma ISO 140-7:1998, que determina o método para medir as propriedades de isolamento acústico de impacto em pisos de edifícios, usando uma máquina de impacto (Figura 37).

Na câmara de emissão do ruído de impacto foi posicionada a máquina (tipo 3207 da marca Bruel Kja&r) sobre os sistemas ensaiados. O conjunto da máquina com o sistema foi colocado em quatro posições diferentes. A distância normalizada pela ISO 140-7:1998 entre máquina de impacto e as bordas do piso (encontro entre a laje e a parede) foi de pelo menos 50 cm.

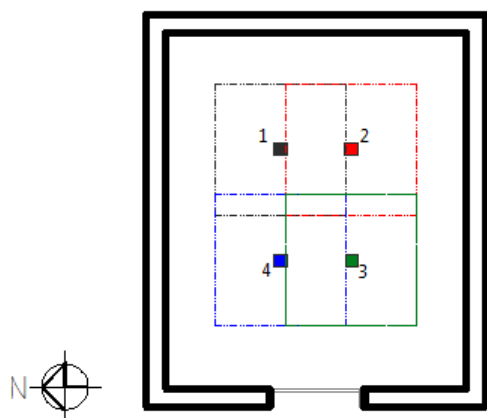


Figura 37 – Quatro posições da máquina de impacto sob as amostras
Fonte: Elaboração própria.

A máquina utiliza cinco martelos de 500 g cada um, que caem em queda livre com 4 cm de altura com uma frequência de 10 golpes por segundo (Figura 38)



Figura 38 – Máquina de impacto tipo 3207 da marca Bruel Kja&r
Fonte: Acervo pessoal.

Na câmara de recepção foi medido o nível de pressão sonora de impacto (Li) de acordo com a ISO 140-7:1998, usando-se um único microfone apoiado em um tripé e movido de uma posição para outra de acordo com o posicionamento do piso na câmara de emissão do ruído, com um total de quatro posições (Figura 39). O microfone utilizado no ensaio foi o do analisador acústico tipo 2270 da marca Brüel & Kjær (Figura 40).

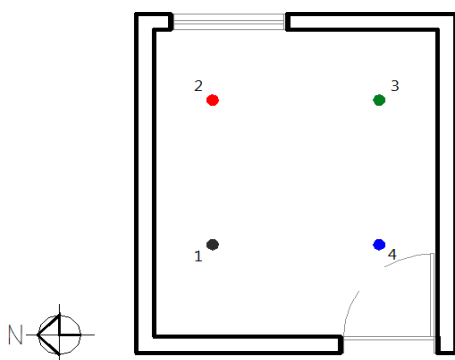


Figura 39 – Quatro posições do microfone
Fonte: Elaboração própria.



Figura 40 - Analisador Acústico tipo 2270 da marca Brüel & Kjær
Fonte: Acervo pessoal.

Obedecendo à recomendação da ISO 140-7:1998 as distâncias mínimas utilizadas em cada série de medições foram: 70 cm entre as posições de microfone, 50 cm entre qualquer posição do microfone e dos limites da sala e 1,0 m entre qualquer posição do microfone e do piso superior que estava sendo estimulado pela máquina de impacto.

O nível de pressão sonora foi medido utilizando-se filtros de banda de um terço de oitava nas seguintes frequências centrais, em hertz: 50, 63, 80, 100, 125, 200, 250, 315, 400, 500, 630, 800, 1000, 1250, 1600, 2000, 2500, 3150, 4000 e 5000.

2.6.3 Normalização para o ensaio de Tempo de Reverberação

Para efetuar o cálculo prescrito na ISO 140-7:1998 é preciso obter o valor do Tempo de Reverberação (TR). De acordo com a NBR 11957:1988 o TR é o tempo necessário para que o nível de pressão sonora caia em 60 decibéis no recinto analisado depois que a fonte sonora cessa. O tempo de decaimento máximo verificado no ensaio foi de 10s e esta verificação foi repetida três vezes.

O ensaio do TR seguiu a metodologia descrita na NBR 11957:1988, segundo a qual o tempo de reverberação deve ser medido no mínimo em três posições de microfone, com pelo menos duas medições em cada posição (Figura 41). O tempo de reverberação deve ser mantido, pelo menos, numa faixa de 125 Hz a 4000 Hz em intervalos de bandas de um terço de oitava.

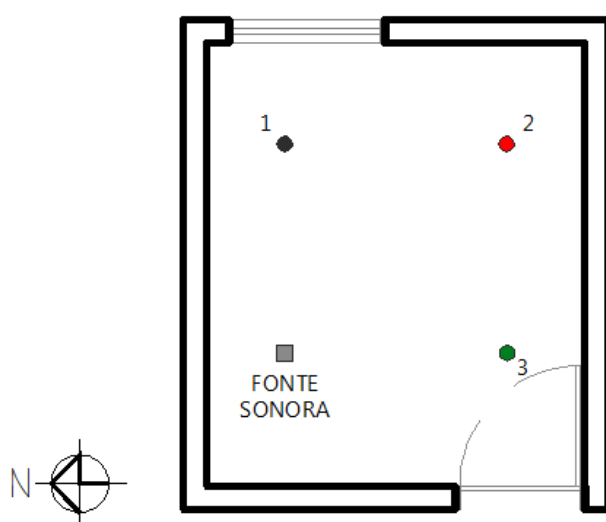


Figura 41 - Três posições do microfone na câmara de recepção
Fonte: Elaboração própria.

2.6.3.1 Equipamentos utilizados no ensaio do Tempo de Reverberação:

Para realizar o ensaio do Tempo de Reverberação o analisador de nível sonoro envia um comando ao emissor de sinal que gera impulso elétrico, o qual é transmitido em som pela fonte sonora (Figura 42).



Figura 42 - Equipamentos da marca Brüel & Kjær utilizados no ensaio do Tempo de Reverberação

Fonte: Acervo pessoal.

2.7 Tratamento dos resultados obtidos através da Norma ISO 140-7:1998 e ISO 717-2:2013

O analisador acústico para edificações utilizado nos ensaios descritos anteriormente determina o nível de ruído de impacto medido na câmara de recepção (L_i) que é aplicado na fórmula para calcular os níveis de ruído de impacto padronizado (L'_{nT}), em dB, para cada

frequência, em Hz. Os cálculos são feitos através da equação definida pela norma ISO 140-7:1998.

$$L'_{nT} = L_i - 10 \log (T/T_0) \text{ dB} \quad (\text{Equação 06})$$

Onde:

L'_{nT} - nível de ruído de impacto padronizado, em dB;

L_i - nível de ruído de impacto medido na câmara de recepção, em dB;

T - tempo de reverberação medido na câmara de recepção, em segundos;

T_0 - tempo de reverberação de referência = 0,5 segundos.

A Norma ISO 717-2:2013 descreve um método de avaliação do nível de isolamento acústico de um local da edificação contra os ruídos de impacto. Essa norma prescreve o tratamento matemático que deve ser dado aos resultados obtidos das medições realizadas, segundo a ISO 140-7:1998. A ISO 717-2:2013 fornece parâmetros (Tabela 06) que determinam o número único, que representa o desempenho acústico do sistema ensaiado, apresentado em $L'_{nT,w}$ (dB). Então para encontrar o $L'_{nT,w}$, utiliza-se a confrontação, num mesmo gráfico, entre os valores da curva de perfil de desempenho medido do material e os valores pré-definidos de referência da curva padrão da ISO 717-2:2013, de tal forma que os valores do perfil de referência possam deslizar para baixo e para cima, de um em um decibel.

Tabela 06 – Valores de referência para ruído de impacto

Frequência Hz	Valores de referência (dB)	
	Bandas de um terço oitava	Bandas de oitava
100	62	67
125	62	
160	62	
200	62	67
250	62	
315	62	
400	61	65
500	60	
630	59	
800	58	62
1000	57	
1250	54	
1600	51	49
2000	48	
2500	45	
3150	42	

Fonte: ISO 717- 2:2013

Nos ensaios da pesquisa foram utilizados os valores de referência para Bandas de um terço de oitava. Para as frequências de 100 a 315 Hz o valor é o mesmo, da frequência 315 a 1000 Hz diminui de um em um decibel, e da frequência 1000 a 3150 Hz, os valores diminui em três decibéis.

Esse método se baseia no fundamento de que o perfil de referência desloca-se de tal forma, que parte do desempenho do sistema em análise fique negativo na seguinte condição: a diferença máxima mais próxima possível de 32 dB, com atenção para que esse valor não seja ultrapassado, como se pode ver na Tabela 07 a seguir.

O valor inicial da curva padrão em 100 Hz foi estabelecido em 82 decibéis, pois com esse valor mais seus valores sequenciais nas frequências seguintes, a soma final da diferença entre o resultado do nível de impacto padronizado e os valores estipulados da curva, foi de 28 decibéis (valor menor que 32 dB).

Se o valor inicial da curva fosse estipulado em 81 dB a soma da diferença seria de 37 dB e se o valor inicial fosse 83 dB a soma da diferença seria 20,2 dB. Então, o valor inicial de 82 dB é o mais adequado para se fazer a curva padrão da amostra 1.

Tabela 07 – Níveis de ruído de impacto padronizado para a amostra REF.

Frequências (Hz)	Níveis de ruído de impacto padronizados (LnT,w)				
	Curva	L'nT (dB)	Diferença		
	A dB	B dB	C dB	D dB	E dB
100	82	74,3	-7,7	0	0
125	82	72,1	-9,9	0	0
160	82	79,3	-2,7	0	0
200	82	75,2	-6,8	0	0
250	82	82,5	0,5	1	0,5
315	82	79,7	-2,3	0	0
400	81	81,3	0,3	1	0,3
500	80	77,6	-2,4	0	0
630	79	80,2	1,2	1	1,2
800	78	74,2	-3,8	0	0
1000	77	79,5	2,5	1	2,5
1250	74	76,9	2,9	1	2,9
1600	71	75,8	4,8	1	4,8
2000	68	70,1	2,1	1	2,1
2500	65	71,3	6,3	1	6,3
3150	62	69,4	7,4	1	7,4
Soma				9	28

Fonte: Elaboração própria.

Para organizar o gráfico dessa tabela acima com o objetivo de confrontar os valores da curva padrão com os valores do ensaio de ruído de impacto o eixo das abscissas deverá ser formado pelas faixas de frequências – em terças de oitava – e o eixo das ordenadas, graduado em decibel (Figura 56).

O número único do desempenho acústico com referência ao ruído de impacto do sistema ensaiado será o valor do perfil de referência (deslizante) medido em dB, para a frequência de 500 Hz, e caracterizará o desempenho acústico do material, cuja nomenclatura será $L'_{nT,w}$ (dB). Segundo a ISO 717-2:2013 todos os resultados dos ensaios que ultrapassarem esse perfil serão considerados desfavoráveis.

De acordo com o exemplo da Tabela 07 a soma final foi de 28 dB e para sabermos o nível de ruído de impacto padronizado dessa amostra a ISO 717-2:2013 indica que se deve conferir o valor para a curva padrão na frequência de 500 Hz. Nesse exemplo o valor foi de 80 dB. Então, esse é o número global que classifica essa amostra quanto ao seu desempenho de isolamento ao ruído de impacto.

Abaixo temos o gráfico (Figura 43) que resulta da confrontação das curvas da Tabela 07, pois quando se alteram os valores dispostos da curva padrão a ISO 717-2:2013 a curva A (padrão) desloca-se para cima ou para baixo até que a diferença entre ela e a curva com o resultado do ensaio da amostra não ultrapasse 32 dB e que seja o mais próximo possível a esse valor.

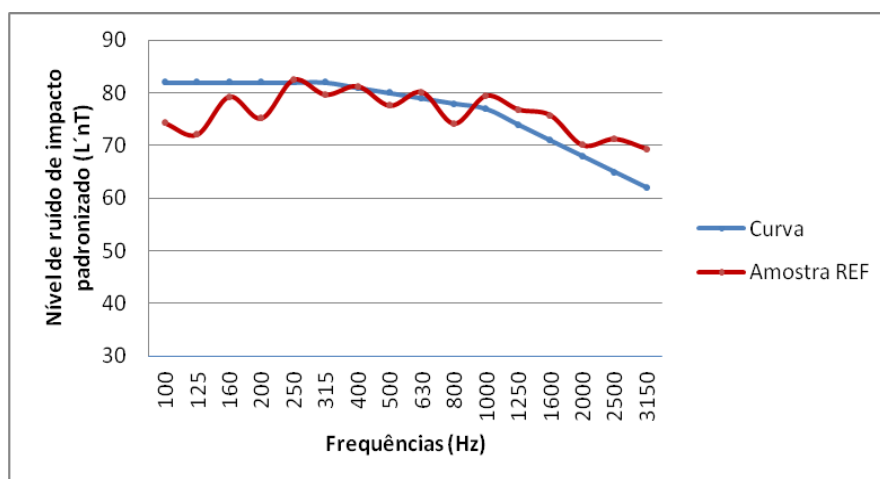


Figura 43 – Confrontação da curva padrão e da curva do ensaio da amostra REF.
Fonte: Elaboração própria.

CAPÍTULO 3

RESULTADOS E DISCUSSÕES

3.1 Análise de dados e resultados obtidos

De acordo com o item 2.7 do capítulo 2 têm-se os cálculos finais com os dados obtidos através das medições realizadas durante o ensaio do ruído de impacto conforme a ISO 140-7:1998 (Tabela 08).

Os dados estão detalhados no apêndice “A”, conforme cada posição da fonte de impacto (na câmara de emissão) e dos microfones (na câmara de recepção), para cada sistema ensaiado, apresentando os níveis de ruído de impactos, L_i (dB), com as respectivas frequências de 50 a 5000 Hz.

Para medir nível de ruído de impacto (L_i) dos sistemas foram feitas aferições de acordo com as quatro posições da fonte do ruído posicionada na câmara de emissão e para cada posição foi medido com os analisadores acústicos o L_i em quatro pontos diferentes na câmara de recepção. Portanto, para cada sistema, foram feitas 16 medições. A Tabela 08, acima, apresenta o resultado das médias finais dos níveis de ruído de impacto, medidos na câmara de recepção durante os ensaios com todos os sistemas.

A Tabela 09 apresenta os resultados da média das três posições do analisador no ensaio do Tempo de Reverberação. Os resultados estão detalhados no apêndice “A”, conforme posição da fonte sonora e das três posições dos microfones, para cada sistema ensaiado. Os tempos medidos para cada frequência foram aplicados na fórmula do nível de ruído de impacto padronizado (L'_{nT}) do item seguinte.

Tabelas 08 – Resultados das médias dos níveis de ruído de impacto para os sistemas

Frequências (Hz)	Média dos níveis de ruído de impacto (Li) na câmara de recepção						
	Ref.	L.R	MA	EVA_ar0	EVA_ar1	EVA_ar2,5	EVA_ar0+d
	dB	dB	dB	dB	dB	dB	dB
50	66,8	55,2	55,7	66,7	67,4	67,7	66,9
63	74,4	57,0	60,2	71,4	71,1	73,3	70,5
80	69,2	51,4	57,0	66,9	68,2	69,6	65,0
100	70,8	48,0	52,8	59,5	56,2	59,2	56,5
125	68,8	41,0	50,8	58,0	52,3	58,5	54,6
160	75,5	46,5	58,1	68,9	63,4	65,6	61,9
200	71,9	51,7	63,8	66,3	69,8	66,8	61,3
250	78,9	53,9	63,1	64,9	71,1	67,1	66,9
315	76,5	46,7	58,9	67,1	65,0	62,3	63,0
400	78,6	42,1	51,2	61,1	56,1	55,2	58,2
500	75,0	46,3	54,8	62,2	62,4	60,4	57,1
630	78,1	54,5	58,3	64,5	65,6	62,4	63,8
800	71,9	38,9	44,6	53,9	54,0	52,3	53,1
1000	76,8	49,5	55,7	63,5	62,0	60,6	60,3
1250	74,2	48,8	53,4	59,4	57,0	56,7	56,7
1600	73,5	50,9	55,0	58,8	57,4	56,9	57,2
2000	68,8	44,2	49,2	56,7	52,8	50,9	53,6
2500	69,0	45,2	52,4	55,6	50,5	49,6	51,4
3150	67,2	45,3	52,4	52,3	47,1	45,8	51,1
4000	67,7	42,7	50,5	51,4	44,5	43,5	51,2
5000	60,3	38,5	43,0	42,2	37,3	36,6	43,8

Ref = sistema de piso com contrapiso (4 cm) revestido com cerâmica sobre laje pré-moldada convencional (10 cm).

LR = sistema de piso flutuante com contrapiso (4 cm) revestido com cerâmica sobre lâ de rocha (espessura: 5 cm e densidade: 64 kg/m³) sobre laje pré-moldada convencional (10 cm).

MA = sistema de piso flutuante com contrapiso (4 cm) revestido com cerâmica sobre manta acústica de polietileno (espessura: 1 cm e densidade: 30 kg/m³) sobre laje pré-moldada convencional (10 cm).

EVA_ar0 = sistema de piso flutuante com contrapiso (4 cm) revestido com cerâmica sobre placas EVA_ar0 (espessura: 2,5 cm e densidade: 626,82 kg/m³) sobre laje pré-moldada convencional (10 cm).

EVA_ar1 = sistema de piso flutuante com contrapiso (4 cm) revestido com cerâmica sobre placas EVA_ar1 (espessura: 3,5 cm e densidade: 592,91 kg/m³) sobre laje pré-moldada convencional (10 cm).

EVA_ar2,5 = sistema de piso flutuante com contrapiso (4 cm) revestido com cerâmica sobre placas EVA_ar2,5 (espessura: 5 cm e densidade: 504,78 kg/m³) sobre laje pré-moldada convencional (10 cm).

EVA_ar0+d = sistema de piso flutuante com contrapiso (4 cm) revestido com cerâmica sobre placas EVA_ar0+d (espessura: 3 cm e densidade: 653,06 kg/m³) sobre laje pré-moldada convencional (10 cm).

Tabela 09 – Tempos de reverberação da câmara de recepção

Frequências (Hz)	Média T (s)
50	1,58
63	1,83
80	1,74
100	1,12
125	1,05
160	1,20
200	1,07
250	1,16
315	1,03
400	0,94
500	0,91
630	0,80
800	0,85
1000	0,90
1250	0,93
1600	0,84
2000	0,86
2500	0,86
3150	0,82
4000	0,77
5000	0,73

Aplicando-se os valores dos níveis de ruído de impacto (L_i) e os respectivos tempos de reverberação (T) na fórmula abaixo descrita no item 2.7, foram calculados os níveis de pressões sonoras padronizadas para cada sistema. Os resultados estão demonstrados na Tabela 10.

$$L'_{nT} = L_i - 10 \log (T/T_0) \text{ dB} \quad (\text{Equação 04})$$

Onde:

L'_{nT} - nível de ruído de impacto padronizado, em dB;

L_i - nível de ruído de impacto medido na câmara de recepção, em dB;

T - tempo de reverberação medido na câmara de recepção, em segundos;

T_0 - tempo de reverberação de referência = 0,5 segundos.

Tabela 10 – Níveis de pressões sonoras padronizadas dos sistemas no ensaio do ruído de impacto

Frequências (Hz)	Níveis de pressões sonoras padronizadas das amostras (L'_{nt})						
	REF.	L.R	MA	EVA_ar0	EVA_ar1	EVA_ar2,5	EVA_ar0+d
	dB	dB	dB	dB	dB	dB	dB
50	71,9	60,2	60,8	71,8	72,5	72,7	71,2
63	78,6	61,1	64,4	75,5	75,2	77,4	74,6
80	74,6	56,8	62,4	72,3	73,6	75,0	70,4
100	74,3	51,5	56,3	63,1	59,7	62,7	60,0
125	72,1	44,2	54,0	61,3	55,5	61,7	57,8
160	79,3	50,3	61,9	72,7	67,2	69,4	65,7
200	75,2	55,0	67,1	69,7	73,1	70,1	64,6
250	82,5	57,5	66,7	68,6	74,7	70,7	70,5
315	79,7	49,8	62,0	70,3	68,1	65,4	66,1
400	81,3	44,8	54,0	63,9	58,8	57,9	60,2
500	77,6	48,9	57,5	63,8	65,1	63,0	59,7
630	80,2	56,5	60,3	66,5	67,7	64,4	65,8
800	74,2	41,2	46,9	56,2	56,3	54,6	55,4
1000	79,5	52,1	58,4	66,1	64,6	63,2	62,9
1250	76,9	51,5	56,2	62,1	59,7	59,4	59,4
1600	75,8	53,1	57,3	61,0	59,6	59,1	59,4
2000	70,1	44,2	50,5	58,0	54,1	52,2	54,9
2500	71,3	47,5	54,7	58,2	52,9	51,9	53,7
3150	69,4	47,5	54,7	54,5	49,3	48,0	53,3
4000	69,5	44,5	52,4	53,2	46,3	45,2	53,0
5000	62,0	40,1	44,7	43,8	38,9	38,2	45,4

Ref = sistema de piso com contrapiso (4 cm) revestido com cerâmica sobre laje pré-moldada convencional (10 cm).

LR = sistema de piso flutuante com contrapiso (4 cm) revestido com cerâmica sobre lâ de rocha (espessura: 5 cm e densidade: 64 kg/m³) sobre laje pré-moldada convencional (10 cm).

MA = sistema de piso flutuante com contrapiso (4 cm) revestido com cerâmica sobre manta acústica de polietileno (espessura: 1 cm e densidade: 30 kg/m³) sobre laje pré-moldada convencional (10 cm).

EVA_ar0 = sistema de piso flutuante com contrapiso (4 cm) revestido com cerâmica sobre placas EVA_ar0 (espessura: 2,5 cm e densidade: 626,82 kg/m³) sobre laje pré-moldada convencional (10 cm).

EVA_ar1 = sistema de piso flutuante com contrapiso (4 cm) revestido com cerâmica sobre placas EVA_ar1 (espessura: 3,5 cm e densidade: 592,91 kg/m³) sobre laje pré-moldada convencional (10 cm).

EVA_ar2,5 = sistema de piso flutuante com contrapiso (4 cm) revestido com cerâmica sobre placas EVA_ar2,5 (espessura: 5 cm e densidade: 504,78 kg/m³) sobre laje pré-moldada convencional (10 cm).

EVA_ar0+d = sistema de piso flutuante com contrapiso (4 cm) revestido com cerâmica sobre placas EVA_ar0+d (espessura: 3 cm e densidade: 653,06 kg/m³) sobre laje pré-moldada convencional (10 cm).

A Figura 44, abaixo, apresenta a comparação dos níveis de ruído de impacto padronizados (L'_{nT}) de todos os sistemas, nas frequências de 50 a 5000 Hz, na banda de um terço de oitava.

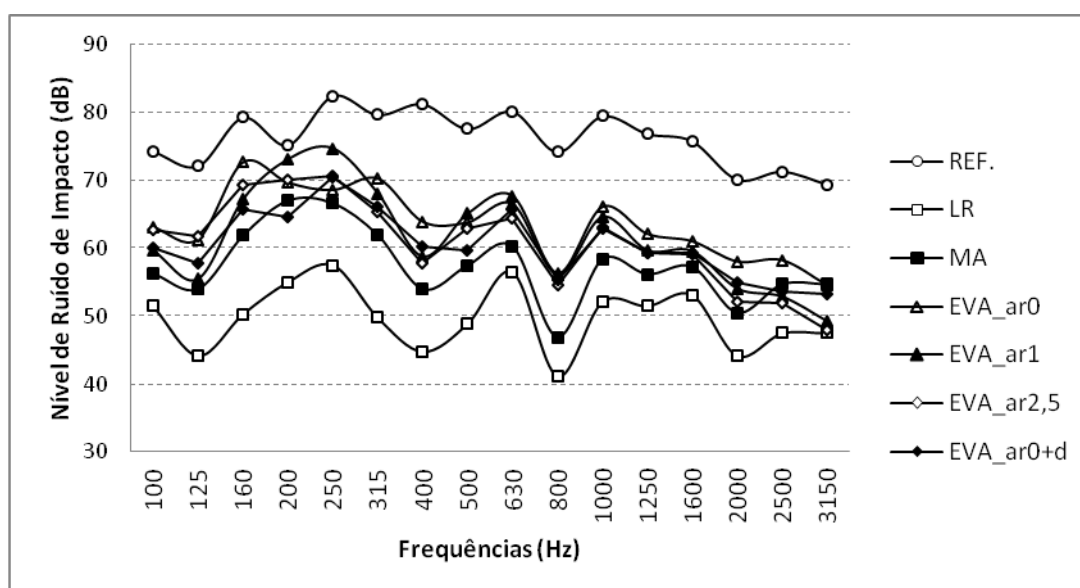


Figura 44 – Níveis de pressão sonora padronizados (L'_{nT}) de todos os sistemas no ensaio do ruído de impacto

De acordo com a Figura 44 o sistema REF composto só pelo contrapiso com revestimento em cerâmica e a laje pré-moldada convencional se comporta com os níveis de ruído de impacto mais elevados. Esses elementos (contrapiso e a laje) estarão presentes nos demais sistemas e diferenciados com a colocação do material resiliente localizado entre eles. O sistema que tem o melhor comportamento, ou seja, tem os níveis de ruído de impacto menor é o LR com lã de rocha de espessura de 5 cm e densidade de 64 kg/m^3 posicionada embaixo da placa de contrapiso.

O sistema EVA_ar2,5 com placas cimentícias tipo C com espessura de 5 cm e densidade de $504,78 \text{ kg/m}^3$ é o único sistema que está próximo ao LR na frequência mais alta de 3150 Hz. O sistema EVA_ar2,5 tem sua geometria com bolsões de ar de 2,5 cm de altura e possui a mesma espessura total da lã de rocha (5 cm).

Comparando os produtos disponíveis no comércio local, observa-se, na Figura 45 que o sistema LR tem melhor isolamento do que o sistema MA com manta acústica de polietileno com espessura de 1 cm e densidade de 30 kg/m^3 . Os resultados desses sistemas não coincidem em nenhuma frequência. Mas convém ressaltar que, apesar de o sistema MA ter o isolamento inferior ao LR, ele apresenta uma vantagem devido a sua espessura ser 4 cm menor do que o sistema com a lã de rocha. Esse é um ponto positivo quanto à questão do dimensionamento do projeto do ambiente, pois se tem um menor impacto na altura do pé-direito.

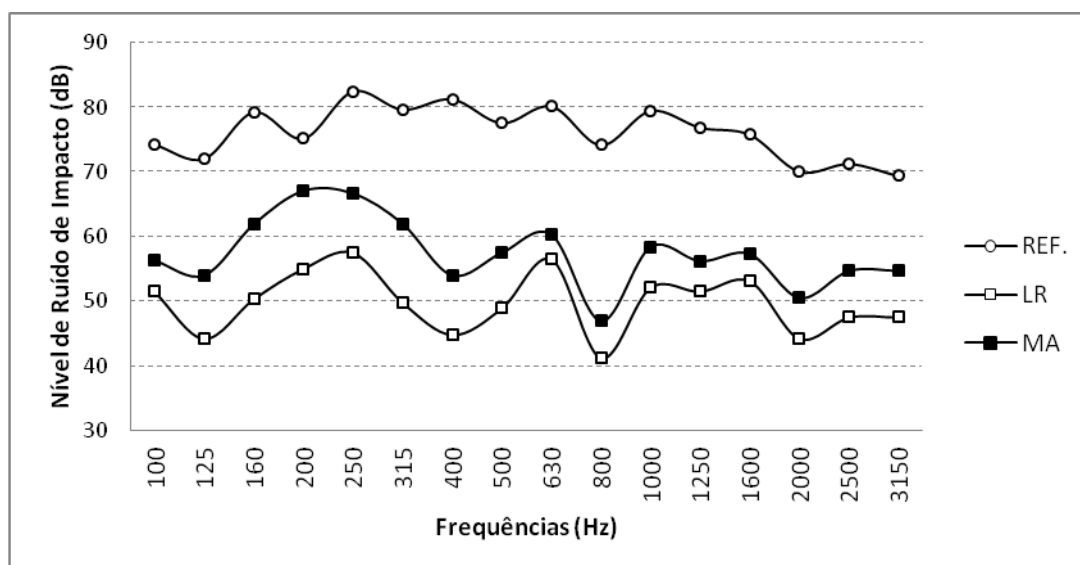


Figura 45 – Níveis de pressão sonora padronizados (L'_{nt}) dos sistemas: REF, LR e MA.

Comparando as placas de EVA aglomerado com cimento de espessura de 2,5 cm e 3,0 cm tem-se na Figura 46, os resultados que são aproximados na frequência inicial no sistema EVA_ar0 composto com as placas tipo B, cuja espessura é de 2,5 cm, e densidade aparente de 626,82 kg/m³, e no sistema EVA_ar0+d, com placas de EVA traço 1:6 com espessura de 3,0 cm e densidade de 653,06 kg/m³ tem os seus níveis de ruído de impacto iguais. Na frequência final elas se distanciam e o sistema EVA_ar0 apresenta um desempenho melhor.

O sistema EVA_ar1 (592,91 kg/m³) tem melhor isolamento nas frequências 125, 400 e 3150 Hz, e o EVA_ar0+d que tem a densidade um pouco maior (653,06 kg/m³) se comporta melhor nas frequências restantes (160, 200, 315, 500, 630, 800, 1000, 1250).

O sistema EVA_ar0 foi confeccionado baseado no estudo de Hax (2002) com placas do tipo A com espessura de 2,5 cm e densidade aparente de 626,82 kg/m³ e só tem o isolamento melhor na frequência de 250 Hz. Esse sistema não dispõe de bolsões de ar e sua densidade é um pouco menor do que a amostra EVA_ar0+d.

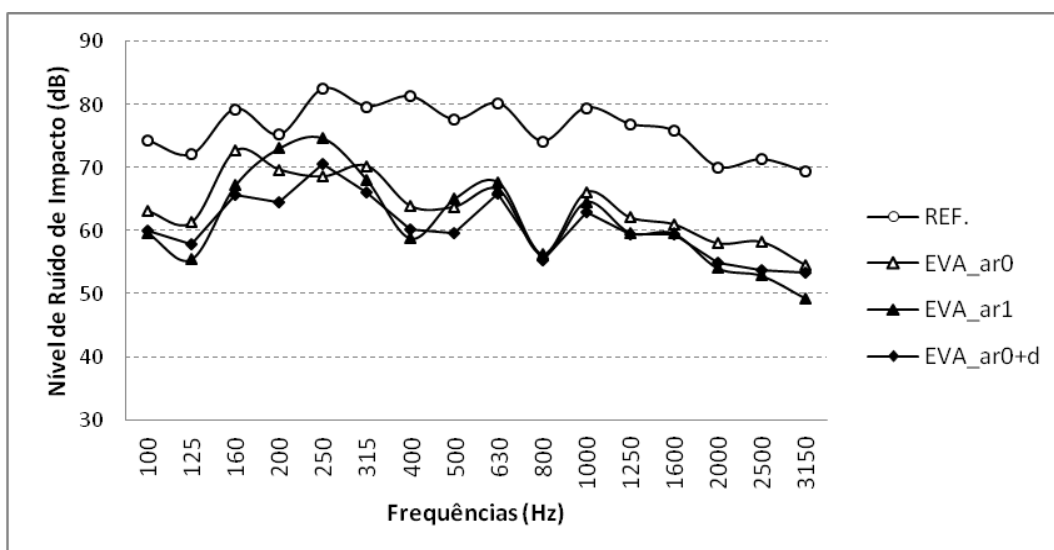


Figura 46 – Níveis de pressão sonora padronizados (L'_{nT}) dos sistemas: EVA_ar0, EVA_ar1 e EVA_ar0+d.

No grupo das placas de resíduo de EVA aglomerado com cimento também se tem o sistema EVA_ar2,5 composto com placas tipo C com espessura de 5 cm e densidade de 504,78 kg/m³ que se diferencia das demais placas de resíduo de EVA aglomerado com cimento por sua espessura, que foi inspirada de acordo a espessura de alguns materiais disponíveis no comércio (tanto nacional quanto internacional).

O sistema EVA_ar2,5 comparado com as outras placas cimentícias ensaiadas, tem um isolamento melhor nas últimas frequências de 1600 a 3150 (Figura 47).

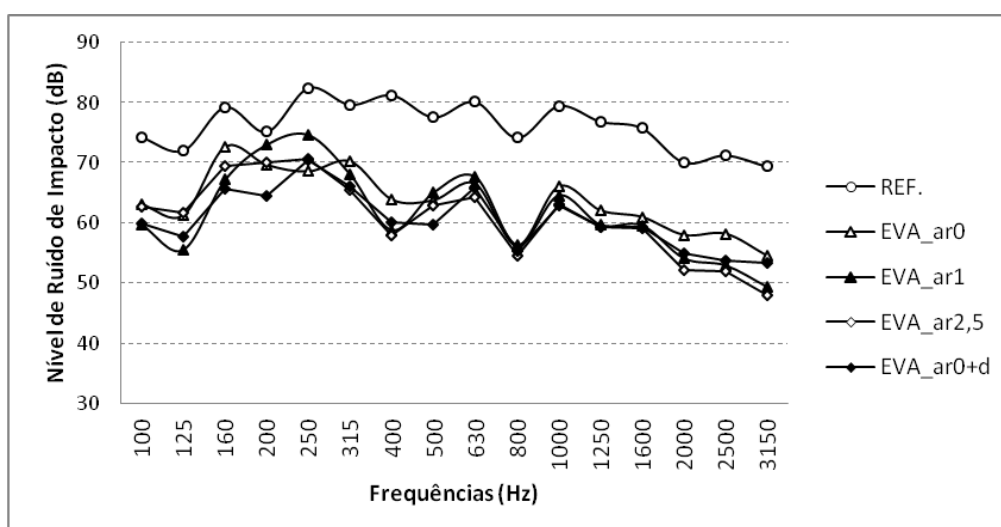


Figura 47 – Níveis de pressão sonora padronizados (L'_{nT}) dos sistemas: REF., EVA_ar0, EVA_ar1, EVA_ar2,5 e EVA_ar0+d.

Comparando os níveis de pressão sonora padronizada (L'_{nT}) (Figura 48) dos sistemas LR e EVA_ar2,5, que têm a mesma espessura de 5 cm, observa-se que o sistema LR é o que tem melhor isolamento se distanciando do sistema EVA_ar2,5 em quase todas as frequências e só coincide o valor do nível de pressão sonora na ultima frequência (3150 Hz). O sistema EVA_ar2,5 tem ponto positivo sobre a amostra LR quanto à questão ambiental devido à utilização do resíduo EVA em sua composição, pois para a fabricação da manta de lã de rocha, é necessário a extração de minerais do meio ambiente, como o basalto e o calcário.

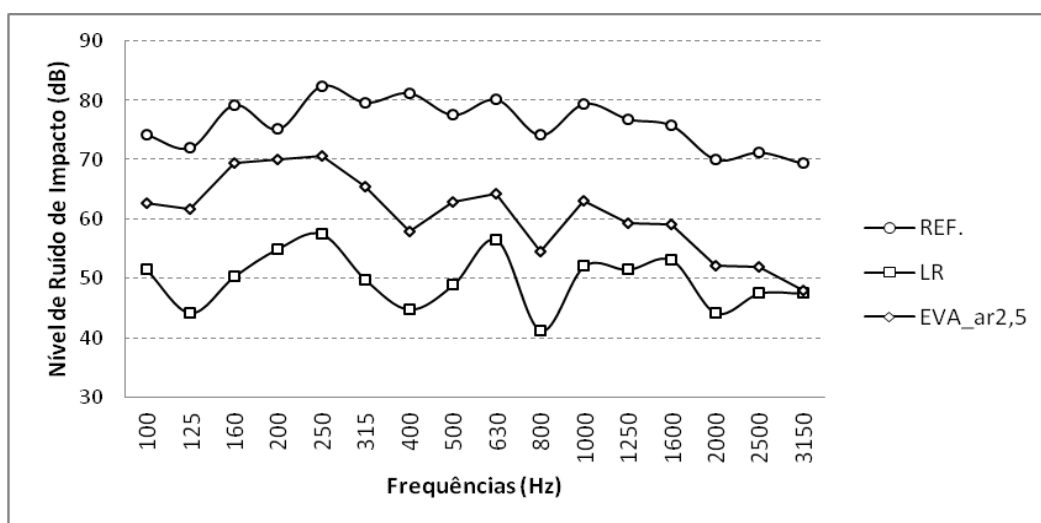
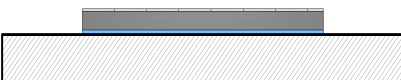
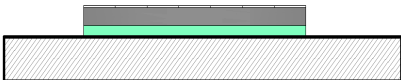
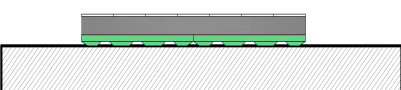
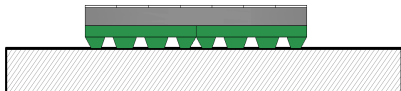
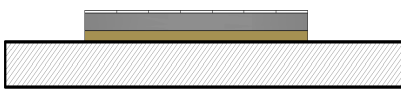


Figura 48 – Níveis de pressão sonora padronizados (L'_{nT}) dos sistemas: REF., LR e EVA_ar2,5.

Depois de analisar o nível de ruído de impacto padronizados dos sistemas, passa-se a analisar os números globais ($L'_{nT,w}$) em decibéis, segundo a ISO 717-2:2013 como demonstrado na Tabela 11 para classificá-los quanto ao seu desempenho de isolamento acústico tomando como referência o sistema REF. que não tem material resiliente entre o contrapiso e a laje. As curvas padrões de todas os sistemas estão detalhadas no apêndice “B”.

O número global ($L'_{nT,w}$) dos sistemas foi calculado de acordo com a confrontação dos resultados dos níveis de ruído de impacto padronizado dos sistemas com os valores de referência de suas respectivas curvas padrões. De acordo com o que está descrito no item 2.7 do Capítulo 2 obedecendo ao que se estabelece a ISO 717-2:2013.

Tabela 11 – Número global das amostras ($L'_{nT,w}$)

AMOSTRA	ESPECIFICAÇÃO DO SISTEMA	$L'_{nT,w}$ (dB)	NÍVEL DE ISOLAMENTO	DESEMPENHO
REF.		80	0	Mínimo (M)
LR		55	25	Superior (S)
MA		62	18	Intermediário (I)
EVA_ar0		67	13	Mínimo (M)
EVA_ar1		66	14	Mínimo (M)
EVA_ar2,5		64	16	Intermediário (I)
EVA_ar0+d		64	16	Intermediário (I)

Fonte: Elaboração própria.

De acordo com a Tabela 11, verificou-se que o número global $L'_{nT,w}$ obtido para o sistema REF. foi de 80 dB. Esse número global de acordo com a NBR 15575-3:2013 está no limite do nível de desempenho mínimo, que é entre 66 dB e 80 dB. O resultado está de acordo com a afirmação feita por Pereyron (2008), que realizou análises comparativas quanto ao desempenho do isolamento acústico de tipologias de lajes (maciça, nervurada, pré-moldada convencional e pré-moldada treliçada) submetidas a ruído de impacto com ensaios realizados “*in situ*”. A análise e a interpretação demonstraram o desempenho de cada laje e foi concluído que as tipologias de laje maciça, laje nervurada e a laje pré-moldada treliçada atingiram um nível de desempenho intermediário, enquanto a laje pré-moldada convencional se classificou como o nível mais baixo, denominado mínimo.

O sistema MA (manta acústica de polietileno), cuja espessura é de 1 cm, ao ser comparada com o sistema REF, apresentou ganho de isolamento na ordem de 18 dB. Esse resultado se aproxima do que afirma seu fabricante – que a redução dos níveis de ruído de impacto é de 20 a 28 dB. No site da empresa, não se explica em que tipo de laje foi feita a avaliação, nem como eles chegaram a esse resultado. Para essa manta acústica de polietileno, eles recomendam que se use contrapiso de 4 cm com um traço de, no mínimo, 1:5 (cimento:areia). De acordo com a NBR 15.575-3:2013 esse sistema se classifica como nível de desempenho intermediário, que varia de 56 dB a 65 dB.

Ao comparar o $L'_{nT,w}$ do sistema EVA_ar0 com a placa confeccionada por Hax (2002) (Tabela 12) é preciso ter em conta que há diferença entre as lajes utilizadas em cada sistema de piso flutuante, laje pré-moldada (presente estudo) e laje maciça (Hax, 2002). Então, a diferença entre os números globais foi de 10 dB, comparando-se os desempenhos das placas de EVA semelhantes – EVA_ar0 (presente estudo) e Hax (2002). No estudo de Hax (2002), apesar de o número global ter sido 57 dB, o ganho de isolamento foi de apenas 12 dB em relação ao seu sistema referencial (contrapiso sem material resiliente sobre a laje maciça com 12 cm; $L'_{nT,w} = 69$ dB). Esse valor se aproxima do encontrado na presente pesquisa para a mesma placa de EVA (Tipo A), de 13 dB em relação ao sistema referencial REF. (contrapiso em material resiliente sobre laje pré-moldada convencional com 10 cm; $L'_{nT,w} = 80$ dB). O sistema EVA_ar0 se classifica com o nível de desempenho mínimo e a amostra do estudo de Hax (2002) se classifica como desempenho intermediário.

O sistema EVA_ar1 com placas tipo B (cimento: EVA) e bolsão de ar de 1 cm de altura comparada com o sistema REF. apresentou ganho de isolamento de 14 dB e se classifica como nível de desempenho mínimo.

O sistema EVA_ar2,5 composto com placas tipo C (cimento: EVA) e colchão de ar de 2,5 cm de altura, comparado com REF, apresentou um ganho de isolamento de 16 dB. Esse sistema foi confeccionado baseando-se na geometria de um painel de borracha reciclada com a presença de bolsões de ar (ACUSTILÁSTIC-N) fabricados na Espanha, citado na página 34 do presente estudo. Esse painel é destinado a isolamento de ruído de impacto e de acordo com o seu fabricante, ele tem a capacidade de reduzir em 21 dB quando comparado com o ruído de impacto transmitido por laje maciça de concreto com espessura de 10 cm (Tabela 12). A amostra EVA_ar2,5 se classifica como nível de desempenho de isolamento acústico intermediário.

Tabela 12 – Outros resultados comparáveis.

REFERÊNCIA	ESPECIFICAÇÃO DO SISTEMA	$L'_{nT,w}$ (dB)	NÍVEL DE ISOLAMENTO	DESEMPENHO
HAX (2002)	Contrapiso mais amostra 20 (placa cimentícia, traço 1:5, diâmetro médio dos grãos de EVA de 4,5 mm, espessura de placa de 2,5 cm e densidade de 540 kg/m ³) mais laje de suporte maciça com 12 cm de espessura.	57	12	Intermediário (I)
ACUSTILÁSTIC-N	Contrapiso mais placa ACUSTILÁSTIC-N (fabricada com borracha reciclada com espessura de 5 cm e densidade não especificada no site do fabricante) mais laje maciça de 10 cm de espessura.	Não informado	21	Intermediário (I)

A placa cimentícia fabricada com resíduo de EVA de Silva *et al* (2012) teve melhor desempenho do que a placa do sistema EVA_ar0 (densidade 626,82 kg/m³). Elas têm a mesma geometria e espessuras aproximadas (EVA_ar0=2,5 cm e EVA_ar0+d=3 cm), mas a EVA_ar0+d foi confeccionada com o traço de 1:6, com densidade de 653,06 kg/m³, e recebeu uma carga de prensagem de 475,20 kg. A diferença de desempenho entre elas foi de 3 dB. O sistema EVA_ar0+d de acordo com a NBR 15.575-3:2013 classifica-se como nível de desempenho intermediário.

Com base no número global, como esperado, o sistema LR obteve o melhor desempenho, comparado com o sistema REF., com a diferença entre eles de 25 dB. O sistema MA se classifica em segundo lugar quanto ao melhor desempenho, pois a diferença do número global desse sistema em relação ao REF. foi de 18 dB. Os sistemas EVA_ar2,5 e EVA_ar0+d ocupam o terceiro lugar quanto ao melhor desempenho, pois a diferença do número global destes sistema em relação ao REF. foi de 16 dB. Em seguida, tem-se o EVA_ar1, cuja diferença em relação ao sistema REF. foi de 14 dB e por último o sistema EVA_ar0cm, sem a presença dos bolsões de ar e em relação ao REF, teve uma diferença de 13 dB. Os sistemas compostos com as placas fabricadas neste estudo apresentaram uniformidade no resultado com variação de 1 a 3 decibéis (Figura 49 e 50).

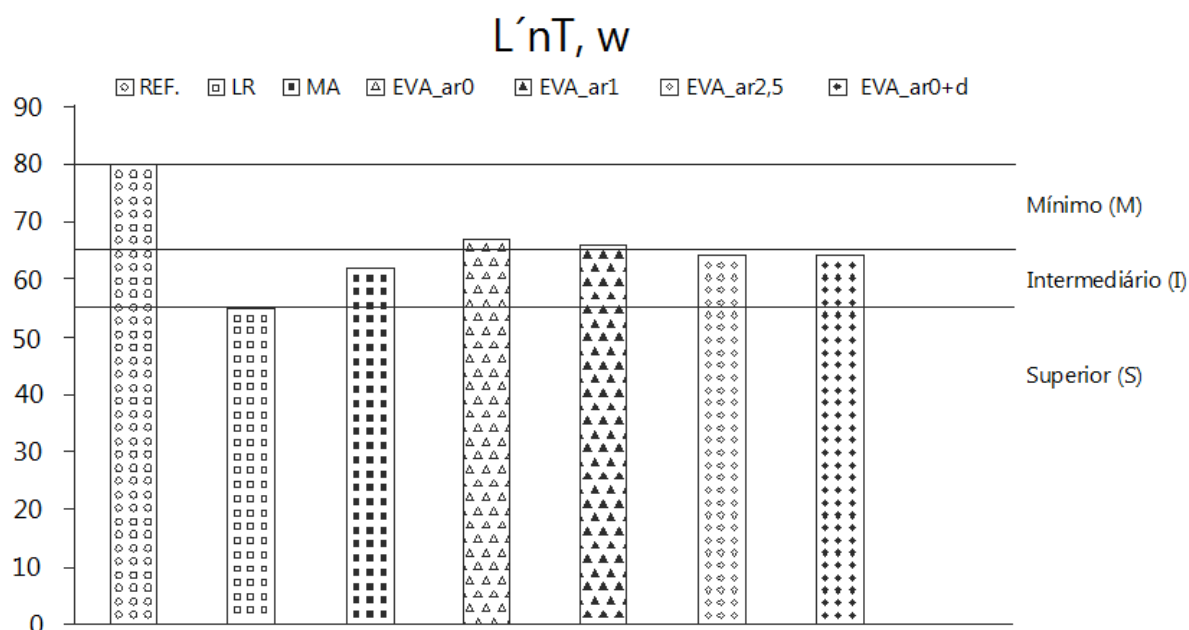


Figura 49 – Comparação entre os pisos flutuantes quanto ao nível de pressão sonora de impacto padronizado ($L'nT,w$)



Figura 50 – Comparação entre os sistemas de pisos flutuantes quanto ao nível de isolamento.

Em relação à densidade das amostras percebe-se que os materiais sintéticos disponíveis no mercado apresentam densidades menores do que as densidades das placas cimentícias fabricadas neste estudo com resíduo de EVA e a placa fabricada no estudo de Silva *et al* (2012). Destaca-se que a placa (EVA_ar0+d) e a placa com bolsão de ar maior (EVA_ar2,5) foram as que alcançaram os melhores isolamentos (Figura 51).

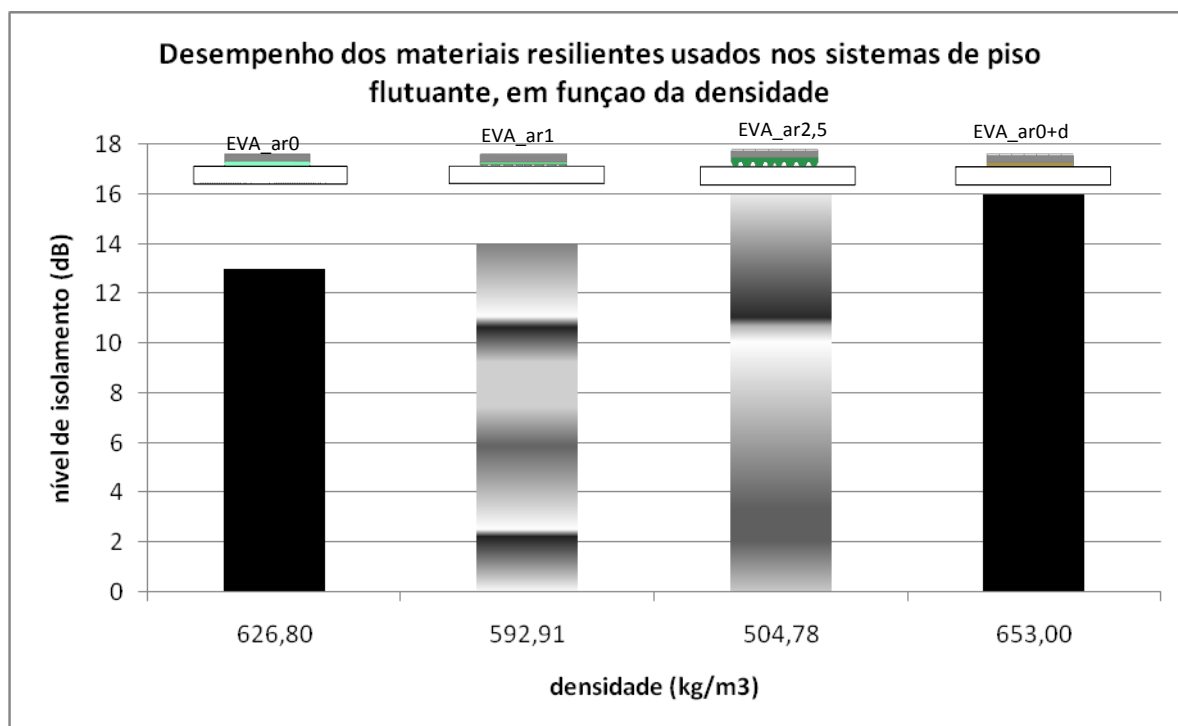


Figura 51 – Desempenho dos materiais resilientes usados nos sistemas de piso flutuante, em função da densidade.

Quanto à criação da nova geometria para as placas cimentícias com resíduo de EVA, o ganho de isolamento foi próximo entre o sistema EVA_ar0, com superfícies lisas e o EVA_ar1, com espessura 1 cm maior do que a placa anterior, mas com baixo relevo de 1 cm em uma de suas superfícies que criam bolsões de ar entre a placa e a laje. A diferença de isolamento entre essas duas placas foi de 1 dB. A placa com a camada de ar teve o melhor desempenho, devido à presença desse novo elemento (bolsões de ar), maior espessura e menor densidade do sistema resiliente. Comparando a placa de superfícies planas com a amostra EVA_ar2,5 que tem um baixo relevo com 2,5 cm, e que forma bolsões de ar maiores, percebe-se um ganho de isolamento maior (3 dB). Porém, essas placas têm espessura total do sistema resiliente diferentes (EVA_ar0 = 2,5 cm; EVA_ar2,5 = 5,0 cm) o que pode ter contribuído também para aumentar o isolamento (Figura 52).

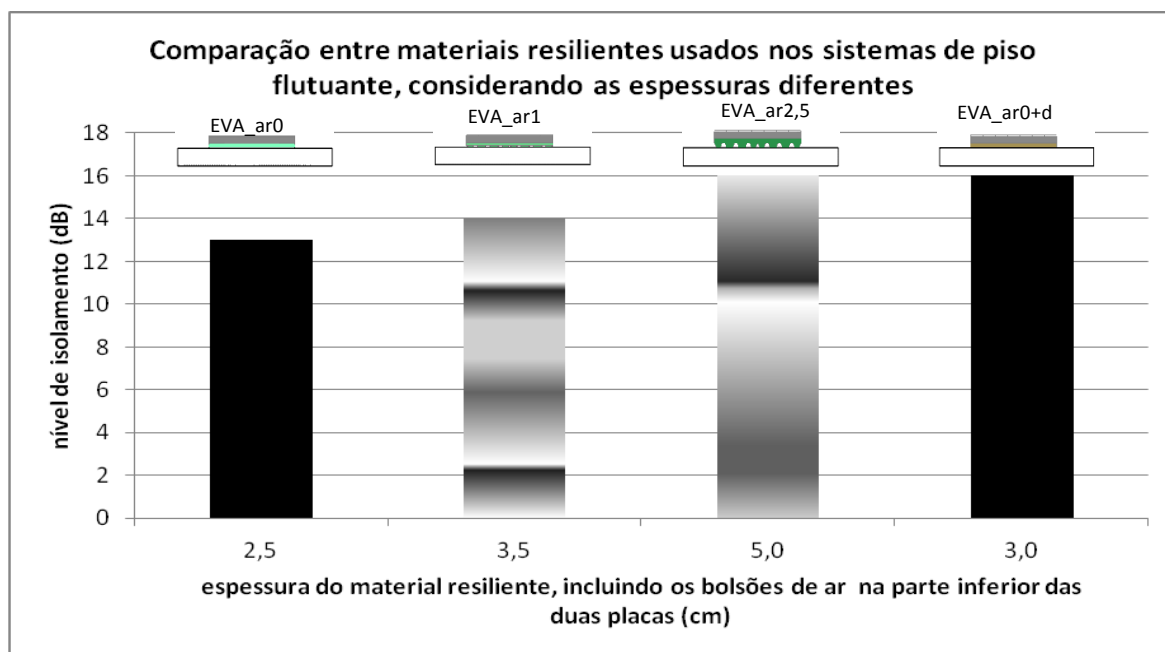


Figura 52 – Comparação entre materiais resilientes usados nos sistemas de piso flutuante, considerando as espessuras diferentes.

Deve-se lembrar que a lã de rocha (densidade = 64 kg/m^3), que tem uma espessura de 5 cm, teve um ganho de isolamento de 25 dB em relação ao sistema REF., enquanto essa mesma comparação em relação à manta de polietileno (densidade = 30 kg/m^3) teve ganho de isolamento de 18 dB. Essa diferença deve ter ocorrido devido ao fato das espessuras dos materiais (lã de rocha e manta) terem uma diferença de 4 cm entre eles, além de terem densidades diferentes.

A inserção da camada de ar contribui para diminuir a rigidez da placa e torná-las mais flexível do que a placa com todas as superfícies planas, tendo uma melhor absorção dos impactos aplicados sobre elas consequentemente com uma capacidade de deformar melhor. Com a camada de ar, também é possível diminuir o ruído de impacto entre os sólidos porque o ar se torna a mola do sistema, pois esse elemento tem o K (rigidez dinâmica por unidade de superfície do material elástico em N/m^3) mais baixo do que a da matéria sólida e como visto no estudo de Lopes (2009) as câmaras de ar consequentemente, influenciam na rigidez dinâmica do sistema. Ele analisou o efeito da pressão instalada na câmara-de-ar, bem como do módulo de elasticidade e do coeficiente do amortecimento da borracha e observou que o coeficiente de amortecimento e a rigidez dinâmica do sistema apresentam uma relação de proporcionalidade direta com as propriedades restantes, pois o coeficiente de amortecimento do sistema é inversamente proporcional à pressão instalada. Essa relação é tanto mais acentuada quanto maior for a

espessura da borracha. Por outro lado, a relação linear entre os coeficientes de amortecimento da borracha e do sistema é menos acentuada para valores elevados da pressão instalada. Contudo, a rigidez dinâmica do sistema é diretamente proporcional à espessura da borracha e à pressão instalada na câmara-de-ar, mas a rigidez dinâmica do sistema diminui ligeiramente quando o coeficiente de amortecimento da borracha aumenta.

CAPÍTULO 4

CONCLUSÕES

O presente estudo aponta uma alternativa para reduzir o impacto ambiental causado pelo grande volume de resíduo de EVA oriundo da indústria calçadista. Os objetivos desta pesquisa foram alcançados já que, a partir dos resultados analisados, pode-se conferir o bom desempenho dos resíduos de EVA.

Foi possível determinar o desempenho sonoro, como atenuação de ruídos de impactos em pisos, do material proposto em tamanho natural com sistemas de aplicação simplificados de piso flutuantes através de ensaios em laboratório. Também foi conferida a avaliação da eficiência da camada de ar incorporada ao sistema de piso flutuante quanto a sua contribuição para o isolamento acústico, visando comparar o potencial do desempenho de isolamento acústico quanto ao ruído de impacto do material proposto, procurando enquadrá-lo como material alternativo, com o desempenho de alguns materiais sintéticos tradicionalmente utilizados em acústica arquitetônica.

Os resultados obtidos estão coerentes com os desempenhos esperados para o sistema de referência ($L'_{nT,w} = 80$ dB) que teve o desempenho mínimo ($66 \text{ dB} \leq L'_{nT,w} \leq 80 \text{ dB}$) e para a lâ de rocha ($L'_{nT,w} = 55$ dB) que se apresentou com melhor desempenho acústico. Com respeito ao desempenho acústico das placas de EVA, considerando o sistema de piso flutuante adotado nos experimentos com a presença da laje pré-moldada convencional, que tem o desempenho mais crítico do que a laje maciça, pode-se concluir que as placas de EVA tiveram potencial para se classificar como um material alternativo, a ser utilizado para atenuação de ruído de impacto entre os pisos de edificações multi pavimentos.

Verificou-se que quanto maior a espessura do material resiliente, mais eficaz é o desempenho do sistema de piso flutuante como foi observado na comparação entre a lâ de rocha de 5 cm com número global ou nível de pressão sonora padronizada ($L'_{nT,w}$) igual a 55 dB e a manta de polietileno de 1 cm que obteve o número global ou nível de pressão

sonora padronizada ($L'_{nT,w}$) igual a 62 dB. Assim, foi possível classificar os sistemas de piso com a lã de rocha como sendo de desempenho superior (melhor desempenho; $L'_{nT,w} \leq 55$ dB) e a manta de polietileno com desempenho intermediário ($56 \text{ dB} \leq L'_{nT,w} \leq 65 \text{ dB}$), de acordo com a NBR 15.575-3:2013.

Das três placas desenvolvidas no estudo a placa de EVA ($L'_{nT,w} = 64$ dB), a com 5 cm de espessura e 2,5 cm de camada de ar, se classificou com desempenho intermediário ($56 \text{ dB} \leq L'_{nT,w} \leq 65 \text{ dB}$); e as outras duas - uma com todas as superfícies planas, com espessura de 2,5 cm ($L'_{nT,w} = 67$ dB), e a outra, com uma superfície em baixo relevo, formando uma camada de ar de 1 cm ($L'_{nT,w} = 66$ dB) - tiveram desempenho mínimo ($66 \text{ dB} \leq L'_{nT,w} \leq 80 \text{ dB}$). Os resultados indicam ainda que com eventuais camadas de ar maiores do que 1 (um) centímetro entre as placas de EVA e a laje pré-moldada, é possível conseguir maiores ganhos de isolamento de ruído de impacto no piso.

Sobre a influência do tamanho da placa do ensaio citada no estudo de Miskinis *et al* (2012), certamente há a influência do tamanho da amostra nos resultados. Contudo, os resultados desta presente pesquisa estão relacionados somente ao tamanho da placa utilizada (1 m²), sendo esperado que a melhoria real de isolamento (para pisos completamente revestido) seja maior do que a que se obtém nos ensaios apenas para cada configuração ensaiada.

Ressalte-se, portanto, que os resultados do presente estudo contribuíram para ampliar o conhecimento sobre piso flutuante, utilizando-se placas fabricadas com resíduos de EVA provenientes de uma indústria calçadista, para atenuar os ruídos de impactos em edifícios de multipavimentos, considerando sistemas de aplicação simplificados que possibilitem a configuração de uma camada de ar entre tal placa e a laje estrutural. Essa é uma característica distinta dos estudos referenciais. Além disso, pode-se alcançar um desempenho acústico para as placas de EVA comparável com um material sintético.

Recomendações para pesquisas futuras com a utilização de resíduos de EVA aplicados em sistemas de pisos flutuantes:

- Desenvolvimento da geometria e do processo de confecção para as placas cimentícias com EVA, adequando fácil aplicação e melhoria no desempenho de isolamento acústico entre pisos;
- Estudo da influência da deformação das placas cimentícias de EVA no desempenho de pisos flutuantes;
- Estudo de viabilidade econômica para as placas cimentícias confeccionadas com resíduos de EVA para aplicação em pisos flutuantes;
- Proposta de pré-moldado cimentício com EVA para impedir as pontes acústicas entre o piso e a parede do ambiente na execução de pisos flutuantes;
- Verificação da influência da densidade das placas cimentícias de EVA no desempenho de pisos flutuantes.
- Influência do desempenho do piso flutuante com uso de blocos com resíduos de EVA para laje pré-moldada.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ADAMS, Cassandra; CHING, Francis D.K. **Técnicas de Construção Ilustrada**. São Paulo: Artmed Editora S.A., 1991.

ALMEIDA, M. Guedes; BRAGANÇA, Luís; SOUZA, Léa C. L. **Bê-a-bá da acústica arquitetônica: ouvindo a Arquitetura** – São Carlos: EDUFSCAR, 2006.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT – **Edifícios habitacionais de até cinco pavimentos – desempenho – parte 3 – requisitos para os sistemas de pisos internos**. NBR 15575-3, 2013.

_____. **Avaliação de Ruído em Áreas Habitadas**. NBR 10151, 2000.

_____. **Nível de Ruído para Conforto Acústico**. NBR 101512, 2000.

_____. **Reverberação – Análise do tempo de reverberação em auditórios**. MB, 2958, 1988.

BEZERRA, Alex Jussileno Viana. **Utilização do resíduo da indústria de calçados (EVA – Etileno Acetato de Vinila) como agregado leve na produção de blocos vazados de concreto para alvenaria sem função estrutural**. 2002. Dissertação (mestrado) – Universidade Federal de Campina Grande – PB.

BEZERRA, Luciano A. C. **Análise do desempenho térmico de sistema construtivo de concreto com EPS como agregado graúdo**. 2003. Dissertação (mestrado) – Universidade Federal do Rio Grande do Norte.

BRANCO, F.G; GODINHO, Luís. **On the use of lightweight mortars for the minimization of impact sound transmission**. Construction and Building Materials 45 (2013) 184–191

BRASIL. **Lei nº 12.305**, de 2 de agosto de 2010. Disponível em <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/lei/l12305.htm>. Acesso em: 25 de abril de 2012.

BRASIL. **Resolução CONAMA nº 313**, de 29 de outubro de 2002. Diário Oficial da União nº 226, de 22 de novembro de 2002. Seção 1, páginas 85-91.

CARVALHO, B. **Acústica aplicada à arquitetura**. Rio de Janeiro: Freitas Bastos, 1967. 101p.

CARVALHO, Régio Paniago. **Acústica arquitetônica** – Brasília: Thesaurus, 2006. 167p.

CARVALHO, Regio Paniago. **Ruído de impacto em lajes de piso**. 2010. Disponível em <http://www.vibraneews.com.br/artigos_det.php?id=28>. Acesso em 20 de fevereiro de 2012.

CHO, Tongjum. **Measurement of creep-induced change of dynamic stiffness of resilient materials used for impact sound isolation in floating floors.** Journal of Testing and Evaluation. Vol I. 40, n° 4, 2012.

CORNACCHIA, G. M. M. **Investigação in-situ do isolamento sonoro ao ruído de impacto em edifícios residenciais.** Dissertação (mestrado) – Universidade Federal de Santa Catarina, 2009.

FERRAZ, Rafaela. **Atenuação de ruído de impacto em pisos de edificações de pavimentos múltiplos.** 2008. Dissertação (mestrado) – Universidade Federal de Minas Gerais, 2008.

FERREIRA, Ana Rafaela P. C. **Soluções técnicas para isolamento sonoro de edifícios de habitação.** Dissertação (mestrado) – Universidade Técnica de Lisboa, 2007.

FRIAS, M; FRUTOS, B; OLAYA, M; OLMEDA, J; ROJAS, M.I.S. **Recycling petroleum coke in blended cement mortar to produce lightweight material for Impact Noise Reduction.** Cement and Concrete Composites, Volume 34, n° 10, p 1194-1201. Madrid, 2012

GARLET, G. **Aproveitamento de resíduos de E.V.A. (Ethylene Vinyl Acetate) como agregado para concreto leve na construção civil.** Dissertação (mestrado) – Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 1998.

HAX, S. P. **Estudo do potencial dos resíduos de E.V.A. no isolamento de ruído de impacto nas edificações.** 2002. Dissertação (mestrado) – Universidade Federal de Santa Maria, 2002.

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

_____. **Acoustic – rating of sound insulation in building elements – Part 2: Impact sound insulation.** ISO 712-2, 2013.

LEAL, L.C; MARQUETTO, L; NUNES, M.F.O.; TUTIKIAN,B.F. **Lightweight concrete with EVA recycled aggregate for impact noise attenuation.** Materiales de Construcción. Vol. 63, 310, 309-316. 2013.

LEE, J.W; JEONG, G.C.; KWON Y.P. **Correlation between dynamic characteristics of isolation material and impact sound reduction of lightweight impact source.** In: Proceedings of the KSNVE Annual Spring Conference; 2003. pp. 191–5

LIMA FILHO, Marçal Rosas Florentino. **Avaliação do desempenho mecânico de protótipo executado com blocos EVA: Estudo de impactos horizontais em alvenarias e suas interações com outros elementos da construção.** Dissertação (mestrado) – Universidade Federal da Paraíba, 2008.

LOSSO, Marco; VIVEIROS, Elvira. **Gesso acartonado e isolamento acústico: teorias versus prática no Brasil.** I Conferência Latino-Americana de Construção Sustentável e X Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído, ENTAC, São Paulo, 2004.

LOPES, Gonçalo Fernandes. **Isolamento activo a ruídos de percussão em pavimento flutuante.** Dissertação (mestrado) – Universidade Técnica de Lisboa, 2009.

MANO, E. **Introdução a polímeros**. São Paulo: Edgard Blücher, 1990. 111p.

MISKINIS et al. **Dependence between reduction of weighted impact sound pressure level and specimen size of floating floor construction**. Material Science (Medziagotyra). Vol. 18, Nº 1, 2012.

MUNTEANU, C; TĂMAS-GAVREA D.R **Considerations regarding impact sound insulation performances of different floor materials**. Civil Engineering and Installations. Romenia, JAES_1(14) _1_2011.

NETO, Nestor A. dos Santos. **Caracterização do isolamento acústico de uma parede de alvenaria estrutural de blocos cerâmicos**. Dissertação (mestrado) – Universidade Federal de Santa Maria, 2006.

PEDROSO, Miguel Angelo Teixeira. **Estudo comparativo entre as modernas composições de pisos flutuantes quanto ao desempenho no isolamento ao ruído de impacto**. Dissertação (mestrado) – Universidade Federal de Santa Maria. Rio Grande do Sul, 2007.

PEREYRON, Daniel. **Estudo de tipologias de lajes quanto ao isolamento ao ruído de impacto**. Dissertação (mestrado) – Universidade Federal de Santa Maria. Rio Grande do Sul, 2008.

PREZOTTO *et al.* **Etileno acetato de vinila – EVA. Planejamento e projeto da industria química**. Porto Alegre, UFRGS, 1990, 256 p.

ROCHA, Fabiano de Melo Duarte. **Aproveitamento de resíduos sólidos industriais em materiais alternativos na perspectiva da construção seca: Bloco de EVA - Intertravamento e racionalização das alvenarias**. Dissertação (mestrado) – Universidade Federal da Paraíba, 2008.

ROUGERON, C. **Aislamento acustico y termico en la construccion**. Barcelona: Editores Técnicos Asociados, 1977. 300 p.

SANTOS, Jorge Luiz Pizzutti dos. **Estudo do potencial tecnológico de materiais alternativos em absorção sonora**. Santa Maria: Ed. da UFSM, 2005. 80p.

SILVA, C. G.; FILHO, N. T. A; DANTAS, C. P.; LEAL, A. F.; BARBOSA, N. P.; ALEXANDRE, M.V. **Resistência mecânica de compósitos cimentícios leves utilizando resíduos industriais e fibras de sisal**. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental. Vol 16, nº 8, p 894-902, 2012.

SILVA, P. **Acústica arquitetônica e condicionamento de ar**. Belo Horizonte: EDTAL, 1997. 277 p.

VÉR, I. L. **Impact Noise Isolation of Composite Floors**. Journal of the Acoustical Society of America, October 1971, Vol.50(4), pp.1043-1050

WARNOCK, A.C.C **Controlling the transmission of impact sound through floors**. Construction Technology Update Nº35. Ottawa,1999.

APÊNDICE A - RESULTADOS DOS ENSAIOS DOS NÍVEIS DE RUÍDO DE IMPACTO (Li)

- **Amostra REF.:** Contrapiso com acabamento em cerâmica + laje pré-moldada convencional.

Posição da fonte de emissão de impacto: 1

Tabela 13 – Níveis de ruído de impacto (Li) da amostra REF.

Frequências (Hz)	Níveis de ruído de impacto (Li) das posições dos microfones				
	Posição	Posição	Posição	Posição	Média Li
	1	2	3	4	
	dB	dB	dB	dB	dB
50	68,2	63,2	63,3	66,8	65,3
63	72,2	66,7	68,8	69,2	69,2
80	69,0	64,9	63,9	68,9	66,6
100	72,9	70,8	74,0	74,8	73,1
125	67,6	65,5	66,8	66,5	66,6
160	81,3	78,9	80,7	80,3	80,3
200	75,8	74,6	75,6	75,9	75,4
250	78,3	75,5	80,8	81,5	79,0
315	75,2	74,1	75,3	76,4	75,2
400	80,1	78,0	79,0	80,2	79,3
500	73,9	72,8	75,1	76,2	74,5
630	80,1	77,5	79,2	80,5	79,3
800	73,9	71,0	73,4	76,2	73,6
1000	76,5	75,0	77,5	76,4	76,3
1250	74,1	74,8	74,5	74,1	74,3
1600	74,3	71,7	74,4	72,6	73,2
2000	69,5	68,1	68,4	69,8	68,9
2500	67,6	67,0	68,5	67,4	67,6
3150	67,2	66,6	67,0	66,5	66,8
4000	67,0	66,7	66,5	66,7	66,7
5000	60,5	59,7	59,8	60,4	60,1

- **Amostra REF.:** Contrapiso com acabamento em cerâmica + laje pré-moldada convencional.

Posição da fonte de emissão de impacto: 2

Tabela 14 – Níveis de ruído de impacto (Li) da amostra REF.

Frequências (Hz)	Níveis de ruído de impacto (Li) das posições dos microfones				
	Posição	Posição	Posição	Posição	Média Li
	1	2	3	4	
	dB	dB	dB	dB	dB
50	68,5	66,7	64,6	67,9	66,9
63	75,9	72,6	72,4	73,5	73,6
80	74,8	75,0	73,5	73,5	74,2
100	69,5	67,8	69,1	68,5	68,7
125	70,4	64,1	67,5	64,0	66,5
160	70,7	71,5	70,1	70,3	70,6
200	74,2	72,8	70,4	71,4	72,2
250	77,2	75,6	77,5	80,3	77,6
315	74,5	72,0	72,8	76,8	74,0
400	74,6	73,5	77,7	77,0	75,7
500	75,0	74,4	74,5	73,6	74,3
630	78,8	77,3	74,8	78,6	77,3
800	68,6	69,0	68,3	69,4	68,8
1000	76,2	76,6	76,6	77,3	76,6
1250	73,4	73,2	72,3	72,7	72,9
1600	72,7	73,5	74,5	71,5	73,0
2000	65,0	64,9	65,6	65,3	65,2
2500	68,5	67,8	69,1	69,0	68,6
3150	66,6	67,3	67,4	67,0	67,0
4000	67,3	68,3	67,9	67,7	67,8
5000	59,1	60,5	60,6	59,9	60,0

- **Amostra REF.:** Contrapiso com acabamento em cerâmica + laje pré-moldada convencional.

Posição da fonte de emissão de impacto: 3

Tabela 15 – Níveis de ruído de impacto (Li) da amostra REF.

Frequências (Hz)	Níveis de ruído de impacto (Li) das posições dos microfones				
	Posição 1	Posição 2	Posição 3	Posição 4	Média Li
	dB	dB	dB	dB	dB
50	67,8	68,6	66,1	66,3	67,2
63	78,0	76,0	75,1	74,8	75,9
80	67,7	67,6	70,3	66,9	68,1
100	72,7	67,7	73,0	66,3	69,9
125	73,6	72,7	73,2	71,4	72,7
160	75,9	78,7	78,0	75,5	77,0
200	72,2	72,6	74,0	72,2	72,7
250	77,8	77,9	78,3	78,3	78,0
315	73,4	75,8	74,7	74,5	74,6
400	76,9	77,0	77,8	79,1	77,7
500	73,3	72,4	74,6	75,4	73,9
630	77,4	77,6	76,0	79,6	77,6
800	70,9	70,7	72,1	72,7	71,6
1000	76,0	78,2	76,7	78,0	77,2
1250	72,7	74,1	73,9	74,9	73,9
1600	72,5	73,5	73,5	74,8	73,5
2000	67,6	70,5	69,8	69,7	69,4
2500	68,3	69,9	70,3	69,8	69,5
3150	66,8	66,7	66,7	67,5	66,9
4000	67,7	67,7	67,6	67,6	67,6
5000	58,9	59,0	58,5	59,3	58,9

- **Amostra REF.:** Contrapiso com acabamento em cerâmica + laje pré-moldada convencional.

Posição da fonte de emissão de impacto: 4

Tabela 16 – Níveis de ruído de impacto (Li) da amostra REF.

Frequências (Hz)	Níveis de ruído de impacto (Li) das posições dos microfones				
	Posição 1	Posição 2	Posição 3	Posição 4	Média Li
	dB	dB	dB	dB	dB
50	70,4	68,9	65,7	67,1	68,0
63	79,4	80,4	78,1	78,2	79,0
80	65,8	66,2	70,1	69,6	67,9
100	71,7	70,9	72,4	71,3	71,5
125	70,6	71,0	69,2	67,9	69,6
160	74,5	75,2	74,5	72,6	74,2
200	66,0	67,3	68,5	68,3	67,5
250	82,0	79,0	80,7	82,0	80,9
315	84,0	83,0	81,2	81,3	82,3
400	81,7	82,6	81,6	81,5	81,8
500	76,6	77,6	76,5	78,4	77,2
630	78,3	78,7	77,8	78,6	78,3
800	73,4	72,8	73,2	76,0	73,8
1000	78,1	75,8	78,1	77,1	77,2
1250	74,6	76,2	76,7	76,2	75,9
1600	74,9	73,7	74,1	75,0	74,4
2000	70,5	71,1	73,2	72,1	71,7
2500	70,5	70,0	70,2	70,1	70,2
3150	68,3	68,3	68,2	67,2	68,0
4000	69,0	69,3	68,7	68,3	68,8
5000	62,5	62,4	62,7	62,5	62,5

- **Amostra REF.:** Contrapiso com acabamento em cerâmica + laje pré-moldada convencional.

Posição da fonte de emissão de impacto: média final das posições 1,2,3 e 4

Tabela 17 – Níveis de ruído de impacto (Li) da amostra REF.

Frequências (Hz)	Níveis de ruído de impacto (Li) média das posições da fonte				
	Posição 1	Posição 2	Posição 3	Posição 4	Média Li
	dB	dB	dB	dB	Final dB
50	65,3	66,9	67,2	68,0	66,8
63	69,2	73,6	75,9	79,0	74,4
80	66,6	74,2	68,1	67,9	69,2
100	73,1	68,7	69,9	71,5	70,8
125	66,6	66,5	72,7	69,6	68,8
160	80,3	70,6	77,0	74,2	75,5
200	75,4	72,2	72,7	67,5	71,9
250	79,0	77,6	78,0	80,9	78,8
315	75,2	74,0	74,6	82,3	76,5
400	79,3	75,7	77,7	81,8	78,6
500	74,5	74,3	73,9	77,2	74,9
630	79,3	77,3	77,6	78,3	78,1
800	73,6	68,8	71,6	73,8	71,9
1000	76,3	76,6	77,2	77,2	76,8
1250	74,3	72,9	73,9	75,9	74,2
1600	73,2	73,0	73,5	74,4	73,5
2000	68,9	65,2	69,4	71,7	68,8
2500	67,6	68,6	69,5	70,2	68,9
3150	66,8	67,0	66,9	68,0	67,1
4000	66,7	67,8	67,6	68,8	67,7
5000	60,1	60,0	58,9	62,5	60,3

- **Amostra LR:** Contrapiso com acabamento em cerâmica + material resiliente (lã de rocha) + laje pré-moldada convencional.

Posição da fonte de emissão de impacto: 1

Tabela 18 – Níveis de ruído de impacto (Li) da amostra LR

Frequências (Hz)	Níveis de ruído de impacto (Li) das posições dos microfones				
	Posição	Posição	Posição	Posição	Média Li
	1 dB	2 dB	3 dB	4 dB	dB
50	51,8	47,7	51,5	54,0	51,2
63	53,8	54,6	56,1	52,1	54,1
80	48,3	50,0	50,3	50,6	49,8
100	43,4	43,1	51,6	50,0	47,0
125	34,5	36,4	43,7	40,6	38,8
160	41,7	41,7	46,3	45,3	43,7
200	48,8	49,1	55,1	53,4	51,6
250	51,7	50,6	56,2	54,4	53,2
315	44,6	40,6	46,6	49,0	45,2
400	40,0	36,7	40,6	42,7	40,0
500	45,7	40,1	46,3	49,6	45,4
630	53,0	46,6	56,5	57,1	53,3
800	36,7	34,5	39,0	39,2	37,3
1000	46,3	46,1	51,0	47,8	47,8
1250	45,9	46,0	51,2	49,0	48,7
1600	51,5	53,2	54,6	51,8	52,7
2000	41,5	41,3	44,1	43,8	42,6
2500	42,7	42,3	44,3	45,0	43,5
3150	43,1	42,3	44,6	45,7	43,9
4000	39,8	39,1	46,7	42,7	42,0
5000	37,8	36,7	38,7	38,9	38,0

- **Amostra LR:** Contrapiso com acabamento em cerâmica + material resiliente (lã de rocha) + laje pré-moldada convencional.

Posição da fonte de emissão de impacto: 2

Tabela 19 – Níveis de ruído de impacto (Li) da amostra LR

Frequências (Hz)	Níveis de ruído de impacto (Li) das posições dos microfones				
	Posição	Posição	Posição	Posição	Média Li
	1 dB	2 dB	3 dB	4 dB	dB
50	57,1	54,9	52,4	55,9	55,0
63	54,8	57,4	58,4	55,7	56,5
80	48,6	53,0	54,6	52,5	52,1
100	49,8	49,2	56,3	55,3	52,6
125	40,2	43,4	44,2	41,5	42,3
160	48,3	47,6	48,1	46,4	47,6
200	48,1	49,5	53,9	52,6	51,0
250	51,5	51,8	54,6	57,7	53,9
315	46,7	46,2	46,0	50,9	47,4
400	42,5	42,8	42,3	44,3	42,9
500	45,6	45,9	44,9	48,0	46,1
630	56,0	52,6	54,8	57,2	55,1
800	38,5	37,9	38,5	40,6	38,8
1000	49,4	49,5	49,8	51,1	49,9
1250	50,3	48,3	47,9	48,4	48,7
1600	50,9	49,7	50,8	51,1	50,6
2000	46,9	44,4	43,7	45,5	45,1
2500	47,0	46,2	46,3	46,8	46,5
3150	47,6	46,8	47,6	47,9	47,4
4000	43,5	42,7	42,5	43,3	43,0
5000	39,1	37,7	37,1	38,7	38,1

- **Amostra LR:** Contrapiso com acabamento em cerâmica + material resiliente (lã de rocha) + laje pré-moldada convencional.

Posição da fonte de emissão de impacto: 3

Tabela 20 – Níveis de ruído de impacto (Li) da amostra LR

Frequências (Hz)	Níveis de ruído de impacto (Li) das posições dos microfones				
	Posição	Posição	Posição	Posição	Média Li
	1 dB	2 dB	3 dB	4 dB	dB
50	59,8	58,7	55,9	55,0	57,3
63	61,5	59,0	60,5	56,5	59,3
80	48,5	50,8	58,0	52,1	52,3
100	48,4	46,8	50,0	52,6	49,4
125	40,7	40,3	41,2	42,3	41,1
160	48,7	49,0	47,6	47,6	48,2
200	51,6	55,5	55,0	51,0	53,2
250	51,1	57,6	57,8	53,9	55,1
315	47,1	44,5	48,9	47,4	46,9
400	43,4	41,9	43,3	42,9	42,8
500	48,1	47,7	46,2	46,1	47,0
630	55,8	56,0	53,4	55,1	55,0
800	41,7	40,5	42,0	38,8	40,7
1000	49,6	48,9	49,5	49,9	49,4
1250	50,4	49,0	49,9	48,7	49,5
1600	51,4	53,7	52,5	50,6	52,0
2000	45,5	44,7	45,0	45,1	45,0
2500	45,8	45,5	43,5	46,5	45,3
3150	45,5	44,0	43,3	47,4	45,0
4000	45,8	43,8	43,7	43,0	44,0
5000	41,2	37,7	38,6	38,2	38,9

- **Amostra LR:** Contrapiso com acabamento em cerâmica + material resiliente (lã de rocha) + laje pré-moldada convencional.

Posição da fonte de emissão de impacto: 4

Tabela 21 – Níveis de ruído de impacto (Li) da amostra LR

Frequências (Hz)	Níveis de ruído de impacto (Li) das posições dos microfones				
	Posição	Posição	Posição	Posição	Média Li
	1 dB	2 dB	3 dB	4 dB	dB
50	58,9	57,6	56,0	57,3	57,4
63	58,8	58,0	58,1	57,7	58,2
80	48,1	52,9	56,2	55,0	51,5
100	43,0	40,3	42,7	43,2	43,1
125	41,4	42,0	41,7	42,8	42,1
160	46,7	48,9	46,8	47,0	46,8
200	50,2	51,1	53,4	52,0	51,1
250	51,7	53,8	54,7	55,7	53,7
315	47,9	46,8	47,0	47,4	47,6
400	43,6	42,2	42,7	42,2	42,9
500	44,7	44,9	44,8	49,3	47,0
630	52,4	53,3	55,7	57,0	54,7
800	38,0	40,4	39,6	39,7	38,8
1000	50,0	52,8	50,2	52,0	51,0
1250	48,6	50,3	47,5	48,1	48,3
1600	48,8	50,7	48,2	48,0	48,4
2000	44,8	44,5	42,5	43,7	44,2
2500	45,5	45,1	44,7	45,6	45,5
3150	45,1	44,9	45,0	45,3	45,2
4000	41,7	41,5	41,5	42,2	41,9
5000	39,1	37,2	37,6	38,9	39,0

- **Amostra LR:** Contrapiso com acabamento em cerâmica + material resiliente (lã de rocha) + laje pré-moldada convencional.

Posição da fonte de emissão de impacto: média final das posições 1,2,3 e 4

Tabela 22 – Níveis de ruído de impacto (Li) da amostra LR

Frequências (Hz)	Níveis de ruído de impacto (Li) das posições dos microfones				
	Posição	Posição	Posição	Posição	Média Li
	1 dB	2 dB	3 dB	4 dB	dB
50	51,2	55,0	57,3	57,4	55,2
63	54,1	56,5	59,3	58,2	57,0
80	49,8	52,1	52,3	51,5	51,4
100	47,0	52,6	49,4	43,1	48,0
125	38,8	42,3	41,1	42,1	41,0
160	43,7	47,6	48,2	46,8	46,5
200	51,6	51,0	53,2	51,1	51,7
250	53,2	53,9	55,1	53,7	53,9
315	45,2	47,4	46,9	47,6	46,7
400	40,0	42,9	42,8	42,9	42,1
500	45,4	46,1	47,0	47,0	46,3
630	53,3	55,1	55,0	54,7	54,5
800	37,3	38,8	40,7	38,8	38,9
1000	47,8	49,9	49,4	51,0	49,5
1250	48,7	48,7	49,5	48,3	48,8
1600	52,7	50,6	52,0	48,4	50,9
2000	42,6	45,1	45,0	44,2	44,2
2500	43,5	46,5	45,3	45,5	45,2
3150	43,9	47,4	45,0	45,2	45,3
4000	42,0	43,0	44,0	41,9	42,7
5000	38,0	38,1	38,9	39,0	38,5

- **Amostra MA:** Contrapiso com acabamento em cerâmica + material resiliente (manta acústica de polietileno; espessura de 1 cm e densidade de 30 kg/m³) + laje pré-moldada convencional.

Posição da fonte de emissão de impacto: 1

Tabela 23 – Níveis de ruído de impacto (Li) da amostra MA

Frequências (Hz)	Níveis de ruído de impacto (Li) das posições dos microfones				
	Posição 1	Posição 2	Posição 3	Posição 4	Média Li
	dB	dB	dB	dB	dB
50	57,1	54,4	53,8	57,2	55,6
63	60,2	59,0	58,1	60,9	59,5
80	54,7	54,9	54,8	57,5	55,4
100	54,9	53,7	56,0	56,7	55,3
125	48,7	52,2	52,8	50,3	51,0
160	56,9	57,1	56,0	56,7	56,6
200	63,4	65,8	60,7	60,1	62,5
250	61,8	65,1	61,6	61,6	62,5
315	57,7	58,9	55,6	55,8	57,0
400	49,4	51,1	50,9	50,9	50,5
500	52,0	51,4	53,7	51,1	52,0
630	56,5	57,9	59,2	55,3	57,2
800	44,6	45,3	45,1	46,0	45,2
1000	56,0	54,7	55,1	54,6	55,1
1250	51,6	51,7	52,8	52,3	52,1
1600	55,4	54,6	55,7	54,1	54,9
2000	48,4	48,5	50,0	48,9	48,9
2500	52,7	51,6	51,4	51,9	51,9
3150	52,5	52,9	52,5	53,0	52,7
4000	51,0	51,5	51,2	50,5	51,0
5000	43,5	44,2	44,3	43,1	43,7

- **Amostra MA:** Contrapiso com acabamento em cerâmica + material resiliente (manta acústica de polietileno; espessura de 1 cm e densidade de 30 kg/m³) + laje pré-moldada convencional.

Posição da fonte de emissão de impacto: 2

Tabela 24 – Níveis de ruído de impacto (Li) da amostra MA

Frequências (Hz)	Níveis de ruído de impacto (Li) das posições dos microfones				
	Posição 1	Posição 2	Posição 3	Posição 4	Média Li
	dB	dB	dB	dB	dB
50	56,1	55,1	53,3	53,8	54,6
63	60,8	59,3	59,6	59,1	59,7
80	56,1	58,2	57,4	56,0	56,9
100	52,9	52,3	52,1	50,8	52,0
125	52,2	53,4	51,0	49,1	51,4
160	57,9	60,1	56,4	58,3	58,2
200	63,3	64,8	64,2	64,2	64,1
250	61,3	65,7	62,6	63,3	63,2
315	62,2	61,1	58,6	59,5	60,4
400	53,1	52,3	52,1	53,0	52,6
500	55,4	55,0	53,6	55,0	54,8
630	60,6	57,5	57,8	59,0	58,7
800	44,6	44,0	44,6	44,5	44,4
1000	56,7	55,3	57,0	57,7	56,7
1250	54,8	53,8	54,9	55,1	54,7
1600	56,3	53,7	55,0	54,0	54,8
2000	50,1	47,7	48,1	49,4	48,8
2500	51,3	52,2	53,1	51,9	52,1
3150	51,8	52,3	52,3	51,5	52,0
4000	50,3	50,4	50,6	50,5	50,5
5000	43,2	43,6	43,7	43,4	43,5

- **Amostra MA:** Contrapiso com acabamento em cerâmica + material resiliente (manta acústica de polietileno; espessura de 1 cm e densidade de 30 kg/m³) + laje pré-moldada convencional.

Posição da fonte de emissão de impacto: 3

Tabela 25 – Níveis de ruído de impacto (Li) da amostra MA

Frequências (Hz)	Níveis de ruído de impacto (Li) das posições dos microfones				
	Posição 1	Posição 2	Posição 3	Posição 4	Média Li
	dB	dB	dB	dB	dB
50	54,5	56,0	53,7	52,8	54,2
63	63,5	60,0	60,2	60,4	61,0
80	53,8	55,6	55,1	53,7	54,5
100	51,7	51,4	51,4	45,7	50,0
125	51,8	51,9	50,7	49,3	50,9
160	56,1	59,4	58,6	56,3	57,6
200	63,6	62,2	64,3	64,7	63,7
250	63,6	62,2	60,3	61,7	61,9
315	57,9	55,8	58,6	59,3	57,9
400	50,1	49,1	50,0	51,5	50,1
500	58,0	56,0	57,3	57,4	57,1
630	60,4	57,9	60,1	60,1	59,6
800	43,4	44,4	44,7	45,3	44,4
1000	53,5	55,0	56,6	57,6	55,6
1250	52,9	53,1	53,7	53,7	53,3
1600	55,7	54,1	54,7	55,5	55,0
2000	49,7	50,2	49,3	50,7	49,9
2500	52,4	53,1	52,3	53,0	52,7
3150	52,2	53,5	52,7	52,8	52,8
4000	50,5	50,5	49,8	50,5	50,3
5000	42,5	42,4	42,1	42,1	42,2

- **Amostra MA:** Contrapiso com acabamento em cerâmica + material resiliente (manta acústica de polietileno; espessura de 1 cm e densidade de 30 kg/m³) + laje pré-moldada convencional.

Posição da fonte de emissão de impacto: 4

Tabela 26 – Níveis de ruído de impacto (Li) da amostra MA

Frequências (Hz)	Níveis de ruído de impacto (Li) das posições dos microfones				
	Posição 1	Posição 2	Posição 3	Posição 4	Média Li
	dB	dB	dB	dB	dB
50	60,6	58,8	56,4	58,7	58,6
63	61,9	61,8	60,6	59,1	60,8
80	58,4	60,7	63,8	62,1	61,2
100	53,3	53,5	54,9	53,8	53,8
125	50,9	48,5	49,4	50,7	49,8
160	58,5	61,0	60,4	60,4	60,0
200	67,6	65,5	64,8	62,9	65,2
250	67,2	65,8	63,9	62,9	64,9
315	61,0	60,7	61,1	59,3	60,5
400	51,9	52,1	51,9	51,4	51,8
500	56,3	53,4	56,7	55,6	55,5
630	56,0	57,3	58,9	58,6	57,7
800	43,7	44,1	45,0	45,2	44,5
1000	55,6	56,8	54,5	55,8	55,6
1250	52,8	54,6	54,6	52,9	53,7
1600	54,9	57,0	55,5	54,9	55,5
2000	49,3	49,3	49,1	49,4	49,2
2500	52,6	53,3	53,1	53,4	53,1
3150	52,2	52,5	52,4	52,7	52,4
4000	50,3	50,8	50,5	50,0	50,4
5000	42,7	42,8	43,0	42,5	42,7

- **Amostra MA:** Contrapiso com acabamento em cerâmica + material resiliente (manta acústica de polietileno; espessura de 1 cm e densidade de 30 kg/m³) + laje pré-moldada convencional.

Posição da fonte de emissão de impacto: média final das posições 1,2,3 e 4

Tabela 27 – Níveis de ruído de impacto (Li) da amostra MA

Frequências (Hz)	Níveis de ruído de impacto (Li) média das posições da fonte				
	Posição 1	Posição 2	Posição 3	Posição 4	Média Li
	dB	dB	dB	dB	Final dB
50	55,6	54,6	54,2	58,6	55,7
63	59,5	59,7	61,0	60,8	60,2
80	55,4	56,9	54,5	61,2	57,0
100	55,3	52,0	50,0	53,8	52,8
125	51,0	51,4	50,9	49,8	50,8
160	56,6	58,2	57,6	60,0	58,1
200	62,5	64,1	63,7	65,2	63,8
250	62,5	63,2	61,9	64,9	63,1
315	57,0	60,4	57,9	60,5	58,9
400	50,5	52,6	50,1	51,8	51,2
500	52,0	54,8	57,1	55,5	54,8
630	57,2	58,7	59,6	57,7	58,3
800	45,2	44,4	44,4	44,5	44,6
1000	55,1	56,7	55,6	55,6	55,7
1250	52,1	54,7	53,3	53,7	53,4
1600	54,9	54,8	55,0	55,5	55,0
2000	48,9	48,8	49,9	49,2	49,2
2500	51,9	52,1	52,7	53,1	52,4
3150	52,7	52,0	52,8	52,4	52,4
4000	51,0	50,5	50,3	50,4	50,5
5000	43,7	43,5	42,2	42,7	43,0

- **Amostra EVA_ar0:** Contrapiso com acabamento em cerâmica + placas tipo A (espessura de 2,5 cm e densidade aparente de 626,82 kg/m³) + laje pré-moldada convencional.

Posição da fonte de emissão de impacto: 1

Tabela 28 – Níveis de ruído de impacto (Li) da amostra EVA_ar0

Frequências (Hz)	Níveis de ruído de impacto (Li) das posições dos microfones				
	Posição 1	Posição 2	Posição 3	Posição 4	Média Li
	dB	dB	dB	dB	dB
50	69,3	65,4	64,3	68,3	66,8
63	71,0	69,0	68,6	68,7	69,3
80	61,2	65,2	68,2	66,2	65,2
100	59,5	59,5	62,6	62,1	60,9
125	59,5	61,6	60,7	59,3	60,2
160	74,9	75,0	75,5	73,9	74,8
200	69,8	67,6	67,5	67,5	68,1
250	79,0	66,8	66,1	69,9	70,4
315	69,4	66,4	67,3	68,3	67,8
400	60,9	61,1	61,3	61,8	61,2
500	63,7	63,4	63,3	63,0	63,3
630	63,7	64,7	63,8	65,3	64,3
800	53,0	53,8	53,5	53,7	53,5
1000	63,3	65,8	63,9	65,5	64,6
1250	59,6	60,3	60,5	60,2	60,1
1600	57,8	58,6	57,3	58,5	58,0
2000	58,4	57,3	58,7	57,6	58,0
2500	54,7	54,5	55,8	55,3	55,0
3150	52,7	53,2	53,6	52,7	53,0
4000	51,1	51,6	50,9	50,9	51,1
5000	42,3	42,5	43,0	41,6	42,3

- **Amostra EVA_ar0:** Contrapiso com acabamento em cerâmica + placas tipo A (espessura de 2,5 cm e densidade aparente de 626,82 kg/m³) + laje pré-moldada convencional.

Posição da fonte de emissão de impacto: 2

Tabela 29 – Níveis de ruído de impacto (Li) da amostra EVA_ar0

Frequências (Hz)	Níveis de ruído de impacto (Li) das posições dos microfones				
	Posição 1	Posição 2	Posição 3	Posição 4	Média Li
	dB	dB	dB	dB	dB
50	67,6	64,1	63,4	65,8	65,2
63	75,2	71,6	72,7	70,9	72,6
80	66,7	71,5	71,6	66,4	69,0
100	61,9	60,5	62,9	60,4	61,4
125	58,9	56,4	59,2	55,2	57,4
160	66,7	64,2	67,6	64,6	65,7
200	64,0	64,4	63,4	68,0	64,9
250	63,4	63,5	61,5	65,7	63,5
315	69,6	68,0	70,2	71,4	69,8
400	63,6	62,9	63,5	65,2	63,8
500	66,8	65,0	65,2	65,2	65,5
630	73,7	69,6	68,0	69,5	70,2
800	56,9	56,3	57,3	56,3	56,7
1000	65,1	63,6	63,9	65,4	64,5
1250	59,6	60,1	61,1	60,8	60,4
1600	59,2	60,3	60,6	61,0	60,2
2000	55,0	55,8	54,7	56,0	55,3
2500	54,8	55,3	55,6	55,6	55,3
3150	53,4	52,0	53,9	53,7	53,2
4000	52,0	50,5	52,4	51,7	51,6
5000	40,6	41,3	41,5	41,1	41,1

- **Amostra EVA_ar0:** Contrapiso com acabamento em cerâmica + placas tipo A (espessura de 2,5 cm e densidade aparente de 626,82 kg/m³) + laje pré-moldada convencional.

Posição da fonte de emissão de impacto: 3

Tabela 30 – Níveis de ruído de impacto (Li) da amostra EVA_ar0

Frequências (Hz)	Níveis de ruído de impacto (Li) das posições dos microfones				
	Posição 1	Posição 2	Posição 3	Posição 4	Média Li
	dB	dB	dB	dB	dB
50	67,3	67,0	65,1	66,2	66,4
63	72,9	72,5	69,7	71,6	71,6
80	64,2	63,7	66,7	64,7	64,8
100	55,2	53,6	58,4	57,2	56,1
125	57,5	59,6	56,9	56,4	57,6
160	73,0	72,9	72,2	70,1	72,0
200	67,0	67,8	66,7	66,5	67,0
250	60,0	60,1	63,5	64,6	62,0
315	66,6	64,2	64,3	65,0	65,0
400	54,5	52,1	56,2	56,5	54,8
500	56,7	60,5	60,6	60,6	59,6
630	57,0	59,9	60,0	60,9	59,4
800	50,8	51,9	52,2	52,3	51,8
1000	64,3	62,5	64,0	63,1	63,4
1250	59,9	60,0	59,3	58,5	59,4
1600	61,7	60,7	62,0	61,5	61,4
2000	57,6	56,9	58,6	57,8	57,7
2500	55,1	55,7	56,7	58,2	56,4
3150	52,0	52,2	53,2	52,3	52,4
4000	51,8	51,8	51,9	52,9	52,1
5000	41,0	40,8	41,5	41,6	41,2

- **Amostra EVA_ar0:** Contrapiso com acabamento em cerâmica + placas tipo A (espessura de 2,5 cm e densidade aparente de 626,82 kg/m³) + laje pré-moldada convencional.

Posição da fonte de emissão de impacto: 4

Tabela 31 – Níveis de ruído de impacto (Li) da amostra EVA_ar0

Frequências (Hz)	Níveis de ruído de impacto (Li) das posições dos microfones				
	Posição 1	Posição 2	Posição 3	Posição 4	Média Li
	dB	dB	dB	dB	dB
50	70,2	69,4	66,9	68,4	68,7
63	74,4	71,9	72,6	70,1	72,2
80	68,7	65,6	72,3	68,1	68,6
100	60,4	57,1	62,4	59,6	59,8
125	57,0	56,7	56,8	57,4	56,9
160	62,9	63,3	63,2	62,9	63,0
200	69,2	63,8	65,6	63,3	65,4
250	66,0	62,8	62,6	64,4	63,9
315	67,6	68,1	63,4	64,9	66,0
400	64,8	65,8	63,7	65,1	64,8
500	61,7	60,5	60,7	59,8	60,6
630	64,3	64,7	63,0	64,2	64,0
800	53,6	53,0	54,1	54,3	53,7
1000	60,8	61,7	61,1	62,0	61,4
1250	57,4	58,1	58,3	57,3	57,7
1600	55,4	55,4	55,6	55,8	55,5
2000	55,8	55,2	56,4	56,1	55,8
2500	55,7	55,6	56,8	55,7	55,9
3150	50,7	50,5	50,5	50,4	50,5
4000	51,1	50,7	50,7	50,7	50,8
5000	44,4	44,3	44,2	44,2	44,2

- **Amostra EVA_ar0:** Contrapiso com acabamento em cerâmica + placas tipo A (espessura de 2,5 cm e densidade aparente de 626,82 kg/m³) + laje pré-moldada convencional.

Posição da fonte de emissão de impacto: média final das posições 1,2,3 e 4

Tabela 32 – Níveis de ruído de impacto (Li) da amostra EVA_ar0

Frequências (Hz)	Níveis de ruído de impacto (Li) média das posições da fonte				
	Posição 1	Posição 2	Posição 3	Posição 4	Média Li
	dB	dB	dB	dB	Final dB
50	66,8	65,2	66,4	68,7	66,7
63	69,3	72,6	71,6	72,2	71,4
80	65,2	69,0	64,8	68,6	66,9
100	60,9	61,4	56,1	59,8	59,5
125	60,2	57,4	57,6	56,9	58,0
160	74,8	65,7	72,0	63,0	68,9
200	68,1	64,9	67,0	65,4	66,3
250	70,4	63,5	62,0	63,9	64,9
315	67,8	69,8	65,0	66,0	67,1
400	61,2	63,8	54,8	64,8	61,1
500	63,3	65,5	59,6	60,6	62,2
630	64,3	70,2	59,4	64,0	64,5
800	53,5	56,7	51,8	53,7	53,9
1000	64,6	64,5	63,4	61,4	63,5
1250	60,1	60,4	59,4	57,7	59,4
1600	58,0	60,2	61,4	55,5	58,8
2000	58,0	55,3	57,7	55,8	56,7
2500	55,0	55,3	56,4	55,9	55,6
3150	53,0	53,2	52,4	50,5	52,3
4000	51,1	51,6	52,1	50,8	51,4
5000	42,3	41,1	41,2	44,2	42,2

- **Amostra EVA_ar1:** Contrapiso com acabamento em cerâmica + placas tipo B (espessura de 3,5 cm e densidade aparente de 592,91 kg/m³) + laje pré-moldada convencional.

Posição da fonte de emissão de impacto: 1

Tabela 33 – Níveis de ruído de impacto (Li) da amostra EVA_ar1

Frequências (Hz)	Níveis de ruído de impacto (Li) das posições dos microfones				
	Posição	Posição	Posição	Posição	Média Li
	1	2	3	4	
	dB	dB	dB	dB	dB
50	69,0	65,9	64,8	68,0	66,9
63	73,3	70,8	71,2	70,1	71,3
80	59,9	60,7	63,4	60,3	61,0
100	53,2	52,6	55,5	54,6	53,9
125	49,7	50,1	49,4	49,9	49,7
160	65,0	62,7	65,1	65,1	64,4
200	72,7	70,1	70,4	70,0	70,8
250	76,0	75,3	73,9	78,2	76,0
315	69,4	68,2	67,8	69,4	68,7
400	58,2	58,1	58,0	56,9	57,8
500	65,1	63,3	62,9	64,6	63,9
630	72,6	72,6	66,4	75,0	71,6
800	56,7	56,8	55,5	57,6	56,6
1000	63,8	65,7	64,6	66,0	65,0
1250	59,3	60,2	59,6	60,2	59,8
1600	61,6	62,5	61,0	62,5	61,9
2000	52,6	53,6	53,9	53,6	53,4
2500	52,1	51,6	52,5	52,1	52,0
3150	50,3	49,7	50,9	50,5	50,3
4000	46,3	46,4	46,9	46,7	46,5
5000	38,2	38,4	38,7	37,9	38,3

- **Amostra EVA_ar1:** Contrapiso com acabamento em cerâmica + placas tipo B (espessura de 3,5 cm e densidade aparente de 592,91 kg/m³) + laje pré-moldada convencional.

Posição da fonte de emissão de impacto: 2

Tabela 34 – Níveis de ruído de impacto (Li) da amostra EVA_ar1

Frequências (Hz)	Níveis de ruído de impacto (Li) das posições dos microfones				
	Posição	Posição	Posição	Posição	Média Li
	1 dB	2 dB	3 dB	4 dB	dB
50	67,9	65,6	64,9	65,8	66,0
63	71,7	67,1	69,6	68,2	69,1
80	65,7	69,0	70,6	68,1	68,3
100	59,3	61,0	63,9	60,5	61,1
125	55,5	55,0	54,8	53,0	54,5
160	64,3	62,8	64,0	62,4	63,3
200	68,3	64,4	68,2	70,6	67,8
250	68,5	64,8	65,6	75,0	68,4
315	62,3	64,3	65,0	64,1	63,9
400	55,3	56,9	57,2	56,3	56,4
500	59,6	61,0	60,5	62,1	60,8
630	66,1	67,7	65,4	67,8	66,7
800	53,9	53,0	54,1	53,3	53,5
1000	63,9	63,7	62,8	63,2	63,4
1250	58,0	59,4	57,8	59,2	58,6
1600	54,5	55,2	55,1	57,5	55,5
2000	49,8	50,7	50,4	51,1	50,5
2500	48,8	48,9	49,3	49,5	49,1
3150	45,3	44,7	44,9	45,7	45,1
4000	43,3	43,4	43,3	43,5	43,3
5000	37,4	37,5	37,5	37,3	37,4

- **Amostra EVA_ar1:** Contrapiso com acabamento em cerâmica + placas tipo B (espessura de 3,5 cm e densidade aparente de 592,91 kg/m³) + laje pré-moldada convencional.

Posição da fonte de emissão de impacto: 3

Tabela 35 – Níveis de ruído de impacto (Li) da amostra EVA_ar1

Frequências (Hz)	Níveis de ruído de impacto (Li) das posições dos microfones				
	Posição	Posição	Posição	Posição	Média Li
	1	2	3	4	
	dB	dB	dB	dB	dB
50	68,6	68,7	66,2	67,9	67,8
63	74,5	74,2	73,5	71,9	73,5
80	66,5	70,2	73,5	71,9	70,5
100	54,5	53,3	56,4	55,0	54,8
125	49,4	49,1	48,1	46,8	48,3
160	61,6	62,1	62,6	60,9	61,8
200	73,3	70,5	69,3	70,6	70,9
250	74,3	72,8	70,5	73,4	72,7
315	66,0	63,1	63,9	63,8	64,2
400	57,6	55,5	56,6	57,1	56,7
500	62,1	62,4	63,8	63,4	62,9
630	63,2	63,4	62,2	64,1	63,2
800	50,1	51,3	52,6	53,4	51,8
1000	56,4	59,8	60,2	59,3	58,9
1250	54,6	55,0	54,6	54,8	54,7
1600	56,5	55,9	55,6	57,0	56,2
2000	51,5	53,7	53,3	52,4	52,7
2500	50,4	50,5	50,9	50,6	50,6
3150	45,2	45,8	46,6	45,9	45,8
4000	42,8	42,7	43,3	43,6	43,1
5000	35,7	35,7	36,6	36,5	36,1

- **Amostra EVA_ar1:** Contrapiso com acabamento em cerâmica + placas tipo B (espessura de 3,5 cm e densidade aparente de 592,91 kg/m³) + laje pré-moldada convencional.

Posição da fonte de emissão de impacto: 4

Tabela 36 – Níveis de ruído de impacto (Li) da amostra EVA_ar1

Frequências (Hz)	Níveis de ruído de impacto (Li) das posições dos microfones				
	Posição	Posição	Posição	Posição	Média Li
	1	2	3	4	
	dB	dB	dB	dB	dB
50	70,2	68,7	67,1	70,1	69,0
63	68,4	73,3	71,9	68,8	70,6
80	67,9	72,2	76,8	74,9	72,9
100	54,7	53,4	57,1	55,7	55,2
125	56,4	55,0	57,4	57,8	56,6
160	64,1	63,3	65,0	64,5	64,2
200	73,2	68,3	68,9	68,9	69,8
250	70,4	66,1	65,8	66,9	67,3
315	64,9	62,7	62,2	63,3	63,2
400	53,0	53,6	54,4	52,9	53,4
500	63,7	61,6	62,0	61,7	62,2
630	61,2	61,0	61,0	61,4	61,1
800	53,6	53,5	54,2	54,5	53,9
1000	61,1	61,6	60,1	61,0	60,9
1250	54,1	54,7	55,0	56,0	54,9
1600	56,1	55,5	55,6	56,3	55,8
2000	53,7	54,8	54,7	55,2	54,6
2500	49,8	50,1	50,9	51,0	50,4
3150	46,8	46,9	47,7	47,2	47,1
4000	44,6	45,3	45,1	45,5	45,1
5000	37,5	37,3	37,3	37,8	37,4

- **Amostra EVA_ar1:** Contrapiso com acabamento em cerâmica + placas tipo B (espessura de 3,5 cm e densidade aparente de 592,91 kg/m³) + laje pré-moldada convencional.

Posição da fonte de emissão de impacto: média final das posições 1,2,3 e 4

Tabela 37 – Níveis de ruído de impacto (Li) da amostra EVA_ar1

Frequências (Hz)	Níveis de ruído de impacto (Li) média das posições da fonte				
	Posição	Posição	Posição	Posição	Média Li
	1	2	3	4	Final
	dB	dB	dB	dB	dB
50	66,9	66,0	67,8	69,0	67,4
63	71,3	69,1	73,5	70,6	71,1
80	61,0	68,3	70,5	72,9	68,2
100	53,9	61,1	54,8	55,2	56,2
125	49,7	54,5	48,3	56,6	52,3
160	64,4	63,3	61,8	64,2	63,4
200	70,8	67,8	70,9	69,8	69,8
250	76,0	68,4	72,7	67,3	71,1
315	68,7	63,9	64,2	63,2	65,0
400	57,8	56,4	56,7	53,4	56,1
500	63,9	60,8	62,9	62,2	62,4
630	71,6	66,7	63,2	61,1	65,6
800	56,6	53,5	51,8	53,9	54,0
1000	65,0	63,4	58,9	60,9	62,0
1250	59,8	58,6	54,7	54,9	57,0
1600	61,9	55,5	56,2	55,8	57,4
2000	53,4	50,5	52,7	54,6	52,8
2500	52,0	49,1	50,6	50,4	50,5
3150	50,3	45,1	45,8	47,1	47,1
4000	46,5	43,3	43,1	45,1	44,5
5000	38,3	37,4	36,1	37,4	37,3

- **Amostra EVA_ar2,5:** Contrapiso com acabamento em cerâmica + placas tipo C (espessura de 5 cm e densidade aparente de 504,78 kg/m³) + laje pré-moldada convencional.

Posição da fonte de emissão de impacto: 1

Tabela 38 – Níveis de ruído de impacto (Li) da amostra EVA_ar2,5

Frequências (Hz)	Níveis de ruído de impacto (Li) das posições dos microfones				
	Posição	Posição	Posição	Posição	Média Li
	1	2	3	4	
	dB	dB	dB	dB	dB
50	67,8	66,0	64,2	66,9	66,2
63	73,9	72,4	71,3	72,5	72,5
80	65,6	70,3	70,5	69,0	68,8
100	59,3	59,8	63,4	61,6	61,0
125	56,7	56,8	55,9	54,6	56,0
160	68,6	67,9	67,9	68,2	68,1
200	65,5	63,8	64,6	62,4	64,0
250	63,2	62,5	60,8	66,2	63,1
315	61,6	59,7	63,5	62,1	61,7
400	55,7	55,8	57,7	56,1	56,3
500	58,9	58,0	59,9	59,9	59,1
630	63,1	62,1	62,4	63,1	62,6
800	51,3	51,7	51,8	53,6	52,1
1000	61,3	61,4	61,8	61,6	61,5
1250	55,8	56,4	57,1	55,4	56,1
1600	55,3	56,0	56,8	55,1	55,8
2000	50,1	49,7	50,8	50,0	50,1
2500	51,5	50,7	51,6	51,0	51,2
3150	46,7	46,9	46,6	46,5	46,6
4000	44,6	44,0	44,3	44,4	44,3
5000	67,8	66,0	64,2	66,9	66,2

- **Amostra EVA_ar2,5:** Contrapiso com acabamento em cerâmica + placas tipo C (espessura de 5 cm e densidade aparente de 504,78 kg/m³) + laje pré-moldada convencional.

Posição da fonte de emissão de impacto: 2

Tabela 39 – Níveis de ruído de impacto (Li) da amostra EVA_ar2,5

Frequências (Hz)	Níveis de ruído de impacto (Li) das posições dos microfones				
	Posição	Posição	Posição	Posição	Média Li
	1	2	3	4	
	dB	dB	dB	dB	dB
50	68,4	66,8	65,5	66,8	66,8
63	77,1	73,2	75,6	70,8	74,1
80	65,1	64,4	65,6	62,0	64,2
100	59,4	61,4	62,3	57,8	60,2
125	59,3	61,0	59,4	59,2	59,7
160	66,9	67,8	65,9	65,4	66,5
200	66,0	67,7	67,6	70,4	67,9
250	68,0	70,1	68,8	77,0	70,9
315	62,0	63,1	61,6	62,7	62,3
400	57,7	56,5	56,7	57,8	57,1
500	64,5	63,0	61,0	62,4	62,7
630	64,6	65,3	62,0	64,7	64,1
800	53,0	53,4	53,2	53,7	53,3
1000	60,8	61,1	60,1	61,1	60,7
1250	57,1	56,5	56,0	56,1	56,4
1600	58,6	58,5	58,1	57,8	58,2
2000	52,7	54,7	53,7	53,5	53,6
2500	49,5	49,8	49,6	46,2	48,7
3150	45,5	45,3	46,0	46,2	45,7
4000	43,8	44,1	44,3	44,0	44,0
5000	37,1	37,3	37,2	37,4	37,2

- **Amostra EVA_ar2,5:** Contrapiso com acabamento em cerâmica + placas tipo C (espessura de 5 cm e densidade aparente de 504,78 kg/m³) + laje pré-moldada convencional.

Posição da fonte de emissão de impacto: 3

Tabela 40 – Níveis de ruído de impacto (Li) da amostra EVA_ar2,5

Frequências (Hz)	Níveis de ruído de impacto (Li) das posições dos microfones				
	Posição	Posição	Posição	Posição	Média Li
	1	2	3	4	
	dB	dB	dB	dB	dB
50	69,8	68,7	65,9	67,4	67,9
63	74,0	73,6	73,2	70,0	72,7
80	66,1	69,9	73,1	66,2	68,8
100	56,8	57,3	60,2	57,6	57,9
125	56,8	57,3	60,2	57,6	57,9
160	55,9	55,6	58,8	57,3	56,9
200	70,8	70,3	71,8	69,6	70,6
250	70,6	71,0	70,5	70,3	70,6
315	67,7	62,4	64,3	63,8	64,5
400	55,5	53,2	56,3	55,5	55,1
500	59,5	58,8	58,8	61,8	59,7
630	62,5	62,7	62,0	62,7	62,4
800	52,1	51,5	53,0	53,6	52,5
1000	59,2	59,4	59,5	60,1	59,5
1250	55,9	54,8	55,2	55,2	55,2
1600	58,2	56,3	57,1	56,8	57,1
2000	48,7	47,1	48,2	47,8	47,9
2500	48,8	49,2	49,1	49,8	49,2
3150	44,6	44,0	44,1	44,5	44,3
4000	42,7	42,5	42,4	42,0	42,4
5000	36,0	35,1	35,0	35,4	35,3

- **Amostra EVA_ar2,5:** Contrapiso com acabamento em cerâmica + placas tipo C (espessura de 5 cm e densidade aparente de 504,78 kg/m³) + laje pré-moldada convencional.

Posição da fonte de emissão de impacto: 4

Tabela 41 – Níveis de ruído de impacto (Li) da amostra EVA_ar2,5

Frequências (Hz)	Níveis de ruído de impacto (Li) das posições dos microfones				
	Posição	Posição	Posição	Posição	Média Li
	1	2	3	4	
	dB	dB	dB	dB	dB
50	68,4	66,8	65,5	66,8	66,8
63	77,1	73,2	75,6	70,8	74,1
80	65,1	64,4	65,6	62,0	64,2
100	59,4	61,4	62,3	57,8	60,2
125	59,3	61,0	59,4	59,2	59,7
160	66,9	67,8	65,9	65,4	66,5
200	66,0	67,7	67,6	70,4	67,9
250	68,0	70,1	68,8	77,0	70,9
315	62,0	63,1	61,6	62,7	62,3
400	57,7	56,5	56,7	57,8	57,1
500	64,5	63,0	61,0	62,4	62,7
630	64,6	65,3	62,0	64,7	64,1
800	53,0	53,4	53,2	53,7	53,3
1000	60,8	61,1	60,1	61,1	60,7
1250	57,1	56,5	56,0	56,1	56,4
1600	58,6	58,5	58,1	57,8	58,2
2000	52,7	54,7	53,7	53,5	53,6
2500	49,5	49,8	49,6	46,2	48,7
3150	45,5	45,3	46,0	46,2	45,7
4000	43,8	44,1	44,3	44,0	44,0
5000	37,1	37,3	37,2	37,4	37,2

- **Amostra EVA_ar2,5:** Contrapiso com acabamento em cerâmica + placas tipo C (espessura de 5 cm e densidade aparente de 504,78 kg/m³) + laje pré-moldada convencional.

Posição da fonte de emissão de impacto: média final das posições 1,2,3 e 4

Tabela 42 – Níveis de ruído de impacto (Li) da amostra EVA_ar2,5

Frequências (Hz)	Níveis de ruído de impacto (Li) média das posições da fonte				
	Posição	Posição	Posição	Posição	Média Li
	1	2	3	4	Final
	dB	dB	dB	dB	dB
50	66,2	66,8	67,9	69,9	67,7
63	72,5	74,1	72,7	74,0	73,3
80	68,8	64,2	68,8	76,6	69,6
100	61,0	60,2	57,9	57,8	59,2
125	56,0	59,7	57,9	60,4	58,5
160	68,1	66,5	56,9	71,1	65,6
200	64,0	67,9	70,6	64,6	66,8
250	63,1	70,9	70,6	63,8	67,1
315	61,7	62,3	64,5	60,8	62,3
400	56,3	57,1	55,1	52,5	55,2
500	59,1	62,7	59,7	60,1	60,4
630	62,6	64,1	62,4	60,3	62,4
800	52,1	53,3	52,5	51,5	52,3
1000	61,5	60,7	59,5	60,9	60,6
1250	56,1	56,4	55,2	59,0	56,7
1600	55,8	58,2	57,1	56,6	56,9
2000	50,1	53,6	47,9	52,0	50,9
2500	51,2	48,7	49,2	49,2	49,6
3150	46,6	45,7	44,3	46,6	45,8
4000	44,3	44,0	42,4	43,2	43,5
5000	36,8	37,2	35,3	37,2	36,6

- **Amostra EVA_ar0+d:** Contrapiso com acabamento em cerâmica + placas de EVA traço 1:6 (cimento: agregado EVA) espessura de 3,0 cm e densidade aparente de 653,06 kg/m³ + laje pré-moldada convencional.

Posição da fonte de emissão de impacto: 1

Tabela 43 – Níveis de ruído de impacto (Li) da amostra EVA_ar0+d

Frequências (Hz)	Níveis de ruído de impacto (Li) das posições dos microfones				
	Posição	Posição	Posição	Posição	Média Li
	1	2	3	4	
	dB	dB	dB	dB	dB
50	68,9	68,1	67,8	66,7	67,8
63	69,1	73,3	72,1	67,5	70,5
80	69,2	65,0	67,6	65,7	66,1
100	55,6	53,0	60,2	56,8	56,4
125	57,6	58,8	59,7	57,8	58,4
160	62,9	64,2	65,2	63,4	63,9
200	62,3	61,9	65,2	63,0	63,1
250	71,7	67,2	67,9	69,2	69,0
315	64,3	59,2	62,1	63,0	62,1
400	58,5	55,4	56,2	56,0	56,5
500	57,9	56,7	57,2	57,8	57,4
630	64,6	63,9	64,2	64,3	64,2
800	55,5	56,2	55,7	53,2	55,1
1000	61,7	63,5	62,1	60,6	61,9
1250	57,8	61,2	59,6	58,3	59,2
1600	59,6	60,5	59,2	57,3	59,1
2000	54,0	54,4	53,7	54,1	54,0
2500	52,5	51,9	52,7	52,1	52,3
3150	52,3	51,7	51,7	50,0	51,4
4000	52,8	52,5	52,9	51,5	52,4
5000	47,2	44,1	45,0	42,4	44,6

- **Amostra EVA_ar0+d:** Contrapiso com acabamento em cerâmica + placas de EVA traço 1:6 (cimento: agregado EVA) espessura de 3,0 cm e densidade aparente de 653,06 kg/m³ + laje pré-moldada convencional.

Posição da fonte de emissão de impacto: 2

Tabela 44 – Níveis de ruído de impacto (Li) da amostra EVA_ar0+d

Frequências (Hz)	Níveis de ruído de impacto (Li) das posições dos microfones				
	Posição	Posição	Posição	Posição	Média Li
	1	2	3	4	
	dB	dB	dB	dB	dB
50	66,9	67,1	66,4	68,2	67,1
63	70,5	70,6	71,7	69,0	70,4
80	62,4	65,1	62,2	64,8	63,6
100	57,6	55,6	60,9	60,1	58,5
125	54,8	55,5	54,4	54,2	54,7
160	63,0	62,2	60,3	60,9	61,6
200	61,9	58,3	59,9	63,5	60,9
250	67,3	64,3	66,4	71,0	67,2
315	62,1	60,9	65,8	66,3	63,7
400	56,8	55,3	58,6	58,4	57,2
500	56,4	56,2	56,3	56,4	56,3
630	63,5	61,5	61,0	63,0	62,2
800	53,5	51,9	51,8	51,9	52,2
1000	59,5	58,6	58,4	56,2	58,1
1250	56,2	53,8	54,4	52,4	54,2
1600	55,7	54,8	54,5	54,5	54,8
2000	52,2	53,1	52,0	52,9	52,5
2500	52,8	52,8	52,4	51,9	52,4
3150	50,2	51,4	50,4	50,1	50,5
4000	49,7	49,4	49,3	49,5	49,4
5000	43,4	43,0	42,5	42,6	42,8

- **Amostra EVA_ar0+d:** Contrapiso com acabamento em cerâmica + placas de EVA traço 1:6 (cimento: agregado EVA) espessura de 3,0 cm e densidade aparente de 653,06 kg/m³ + laje pré-moldada convencional.

Posição da fonte de emissão de impacto: 3

Tabela 45 – Níveis de ruído de impacto (Li) da amostra EVA_ar0+d

Frequências (Hz)	Níveis de ruído de impacto (Li) das posições dos microfones				
	Posição	Posição	Posição	Posição	Média Li
	1	2	3	4	
	dB	dB	dB	dB	dB
50	65,2	65,8	65,0	65,4	65,3
63	70,8	70,7	72,3	68,4	70,5
80	63,8	60,3	58,1	67,3	62,3
100	54,5	52,5	56,1	53,2	54,0
125	50,7	53,4	53,5	49,8	51,8
160	59,0	60,9	60,0	56,3	59,0
200	59,9	60,8	62,3	63,4	61,6
250	65,9	66,4	65,5	70,5	67,0
315	69,1	65,3	64,0	61,8	65,0
400	64,7	61,5	59,4	58,3	60,9
500	57,4	55,5	55,8	58,9	56,9
630	62,0	63,5	63,3	66,0	63,7
800	52,8	54,9	53,1	52,8	53,4
1000	60,4	60,2	60,5	58,3	59,8
1250	55,4	55,3	54,6	55,4	55,1
1600	56,7	57,6	56,9	57,4	57,1
2000	55,9	56,4	55,7	56,3	56,0
2500	54,2	55,4	53,9	54,5	54,5
3150	54,1	53,7	53,1	54,4	53,8
4000	55,1	56,0	54,7	55,1	55,2
5000	45,6	45,3	46,4	45,9	45,8

- **Amostra EVA_ar0+d:** Contrapiso com acabamento em cerâmica + placas de EVA traço 1:6 (cimento: agregado EVA) espessura de 3,0 cm e densidade aparente de 653,06 kg/m³ + laje pré-moldada convencional.

Posição da fonte de emissão de impacto: 4

Tabela 46 – Níveis de ruído de impacto (Li) da amostra EVA_ar0+d

Frequências (Hz)	Níveis de ruído de impacto (Li) das posições dos microfones				
	Posição	Posição	Posição	Posição	Média Li
	1	2	3	4	
	dB	dB	dB	dB	dB
50	68,5	67,5	66,6	68,1	67,6
63	72,1	70,3	71,9	69,6	70,9
80	64,4	67,2	71,2	69,7	68,1
100	55,5	56,1	59,9	58,2	57,4
125	53,2	53,3	54,3	53,7	53,6
160	61,7	64,1	65,0	62,9	63,4
200	58,5	60,9	60,2	59,7	59,8
250	64,3	65,1	64,0	64,3	64,4
315	63,4	58,1	61,2	63,1	61,4
400	59,6	56,9	57,6	58,9	58,2
500	57,7	57,9	56,5	60,5	58,1
630	65,9	65,2	64,4	66,4	65,4
800	51,8	52,7	51,6	51,6	51,9
1000	61,8	61,9	61,3	60,9	61,4
1250	59,7	59,3	57,4	57,0	58,3
1600	58,7	58,2	57,4	58,2	58,1
2000	51,3	52,3	52,9	52,4	52,2
2500	40,0	48,8	49,5	48,5	46,7
3150	49,0	49,6	49,1	48,3	49,0
4000	48,4	48,6	47,7	47,8	48,1
5000	42,0	41,9	41,9	42,2	42,0

- **Amostra EVA_ar0+d:** Contrapiso com acabamento em cerâmica + placas de EVA traço 1:6 (cimento: agregado EVA) espessura de 3,0 cm e densidade aparente de 653,06 kg/m³ + laje pré-moldada convencional.

Posição da fonte de emissão de impacto: média final das posições 1,2,3 e 4

Tabela 47 – Níveis de ruído de impacto (Li) da amostra EVA_ar0+d

Frequências (Hz)	Níveis de ruído de impacto (Li) média das posições da fonte				
	Posição	Posição	Posição	Posição	Média Li
	1	2	3	4	Final
	dB	dB	dB	dB	dB
50	67,8	67,1	65,3	67,6	66,9
63	70,5	70,4	70,5	70,9	70,5
80	66,1	63,6	62,3	68,1	65,0
100	56,4	58,5	54,0	57,4	56,5
125	58,4	54,7	51,8	53,6	54,6
160	63,9	61,6	59,0	63,4	61,9
200	63,1	60,9	61,6	59,8	61,3
250	69,0	67,2	67,0	64,4	66,9
315	62,1	63,7	65,0	61,4	63,0
400	56,5	57,2	60,9	58,2	58,2
500	57,4	56,3	56,9	58,1	57,1
630	64,2	62,2	63,7	65,4	63,8
800	55,1	52,2	53,4	51,9	53,1
1000	61,9	58,1	59,8	61,4	60,3
1250	59,2	54,2	55,1	58,3	56,7
1600	59,1	54,8	57,1	58,1	57,2
2000	54,0	52,5	56,0	52,2	53,6
2500	52,3	52,4	54,5	46,7	51,4
3150	51,4	50,5	53,8	49,0	51,1
4000	52,4	49,4	55,2	48,1	51,2
5000	44,6	42,8	45,8	42,0	43,8

RESULTADOS DOS ENSAIOS DO TEMPO DE REVERBERAÇÃO (TR)

Posição do microfone: 1

Tabela 48 – Tempo de reverberação

Frequências (Hz)	T (s) 1ª medição	T (s) 2ª medição	Média T (s)
50	1,79	1,33	1,56
63	1,81	1,86	1,83
80	1,58	1,78	1,68
100	1,03	1,19	1,11
125	1,22	1,37	1,29
160	1,19	1,27	1,23
200	1,09	1,09	1,09
250	1,61	1,21	1,41
315	0,85	1,27	1,06
400	0,88	0,83	0,85
500	0,89	0,90	0,89
630	0,82	0,75	0,78
800	0,77	0,83	0,80
1000	0,92	0,85	0,88
1250	0,92	0,92	0,92
1600	0,85	0,80	0,82
2000	0,87	0,90	0,88
2500	0,83	0,83	0,83
3150	0,84	0,84	0,84
4000	0,77	0,76	0,76
5000	0,74	0,75	0,74

Posição do microfone: 2

Tabela 49 – Tempo de reverberação

Frequências (Hz)	T (s)		Média T (s)
	1ª medição	2ª medição	
50	1,70	1,39	1,54
63	1,90	1,86	1,88
80	1,83	1,71	1,77
100	1,07	1,06	1,06
125	1,12	1,22	1,17
160	1,09	1,13	1,11
200	1,05	1,08	1,06
250	1,18	1,19	1,18
315	1,07	1,22	1,14
400	0,86	0,91	0,88
500	0,83	0,98	0,90
630	0,93	0,89	0,91
800	0,89	0,90	0,89
1000	0,99	0,94	0,96
1250	1,04	0,95	0,99
1600	0,86	0,84	0,85
2000	0,81	0,86	0,83
2500	0,84	0,90	0,87
3150	0,82	0,81	0,81
4000	0,76	0,71	0,73
5000	0,73	0,73	0,73

Posição do microfone: 3

Tabela 50 – Tempo de reverberação

Frequências (Hz)	T (s)		Média T (s)
	1ª medição	2ª medição	
50	1,75	1,56	1,65
63	1,81	1,75	1,78
80	1,78	1,80	1,79
100	1,12	1,27	1,19
125	0,53	0,84	0,68
160	1,28	1,25	1,26
200	1,10	1,02	1,06
250	0,94	0,87	0,90
315	0,91	0,88	0,89
400	1,11	1,07	1,09
500	1,03	0,88	0,95
630	0,69	0,75	0,72
800	0,87	0,87	0,87
1000	0,90	0,85	0,87
1250	0,88	0,90	0,89
1600	0,84	0,86	0,85
2000	0,83	0,92	0,87
2500	0,87	0,92	0,89
3150	0,82	0,83	0,82
4000	0,81	0,82	0,81
5000	0,71	0,75	0,73

Média das posições 1, 2 e 3 do microfone

Tabela 51 – Tempo de reverberação

Frequências (Hz)	T (s) Médio 1ª posição	T (s) Médio 2ª posição	T (s) Médio 3ª posição	Média Final T (s)
50	1,56	1,54	1,65	1,58
63	1,83	1,88	1,78	1,83
80	1,68	1,77	1,79	1,74
100	1,11	1,06	1,19	1,12
125	1,29	1,17	0,68	1,05
160	1,23	1,11	1,26	1,20
200	1,09	1,06	1,06	1,07
250	1,41	1,18	0,90	1,16
315	1,06	1,14	0,89	1,03
400	0,85	0,88	1,09	0,94
500	0,89	0,90	0,95	0,91
630	0,78	0,91	0,72	0,80
800	0,80	0,89	0,87	0,85
1000	0,88	0,96	0,87	0,90
1250	0,92	0,99	0,89	0,93
1600	0,82	0,85	0,85	0,84
2000	0,88	0,83	0,87	0,86
2500	0,83	0,87	0,89	0,86
3150	0,84	0,81	0,82	0,82
4000	0,76	0,73	0,81	0,77
5000	0,74	0,73	0,73	0,73

APÊNDICE B- RESULTADOS DOS NÚMEROS GLOBAIS ($L'_{nT,w}$)

Tabela 52 – Número global ($L'_{nT,w}$) da amostra REF.

Frequências (Hz)	Curva padrão x nível de ruído de impacto padronizado				
	Curva	L'_{nT} (dB)	Diferença		
	A dB	B dB	C dB	D dB	E dB
100	82	74,3	-7,7	0	0
125	82	72,1	-9,9	0	0
160	82	79,3	-2,7	0	0
200	82	75,2	-6,8	0	0
250	82	82,5	0,5	1	0,5
315	82	79,7	-2,3	0	0
400	81	81,3	0,3	1	0,3
500	80	77,6	-2,4	0	0
630	79	80,2	1,2	1	1,2
800	78	74,2	-3,8	0	0
1000	77	79,5	2,5	1	2,5
1250	74	76,9	2,9	1	2,9
1600	71	75,8	4,8	1	4,8
2000	68	70,1	2,1	1	2,1
2500	65	71,3	6,3	1	6,3
3150	62	69,4	7,4	1	7,4
Soma				9	28

A = valores da curva padrão de acordo com os valores referenciais da ISO 717-2 (2013)

B = Níveis de ruído de impacto padronizado da amostra 1 (Ref.) em decibéis.

C = Resultado entre a diferença entre os valores de B menos os valores de A.

D = 0 (zero) para os valores negativos de C e 1 (um) para os valores positivos de C.

E = 0 (zero) para os valores negativos e os valores positivos de C são repetidos em E, que ao final serão somados.

A soma de E resultou em 28,0 dB, sendo o máximo possível, mas não mais que 32 dB, o que é estabelecido na ISO 717 – 2 (2013). Então, o valor do número global ($L'_{nT,w}$) para a curva Padrão em 500Hz foi de 80,00 dB.

Abaixo a Figura 53 demonstra a confrontação entre os valores em decibéis para o nível do ruído de impacto da Amostra REF. em relação aos valores calculados de acordo com a curva padrão da ISO 717-2 (2013):

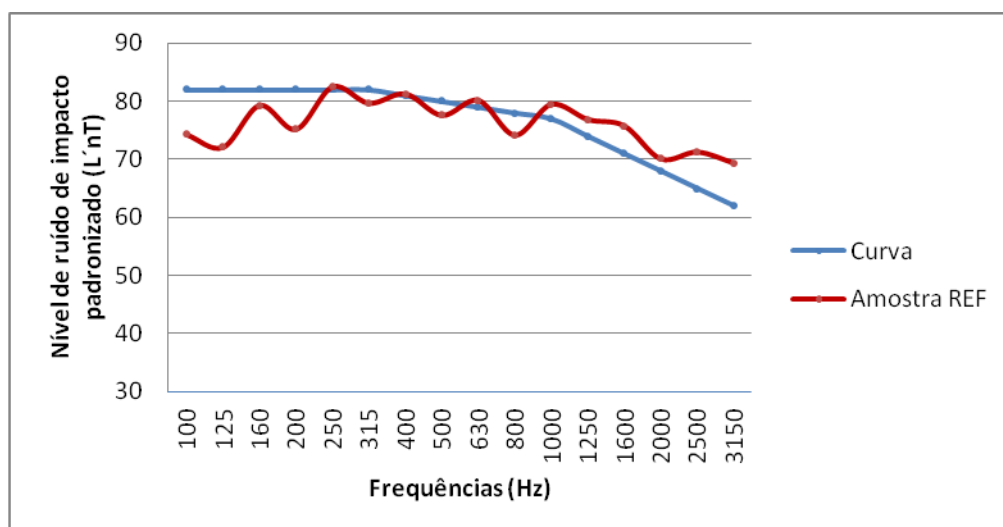


Figura 53 – Comparação entre a curva padrão e o resultado para a amostra REF.

Tabela 53 – Número global ($L'_{nT,w}$) da amostra LR

Frequências (Hz)	Curva padrão x nível de ruído de impacto padronizado				
	Curva	L'_{nT} (dB)	Diferença		
	A dB	B dB	C dB	D dB	E dB
100	57,0	51,5	-5,5	0,0	0,0
125	57,0	44,2	-12,8	0,0	0,0
160	57,0	50,3	-6,7	0,0	0,0
200	57,0	55,0	-2,0	0,0	0,0
250	57,0	57,5	0,5	0,5	0,5
315	57,0	49,8	-7,2	0,0	0,0
400	56,0	44,8	-11,2	0,0	0,0
500	55,0	48,9	-6,1	0,0	0,0
630	54,0	56,5	2,5	2,5	2,5
800	53,0	41,2	-11,8	0,0	0,0
1000	52,0	52,1	0,1	0,1	0,1
1250	49,0	51,5	2,5	2,5	2,5
1600	46,0	53,1	7,1	7,1	7,1
2000	43,0	44,2	1,2	1,2	1,2
2500	40,0	47,5	7,5	7,5	7,5
3150	37,0	47,5	10,5	10,5	10,5
Soma					31,9

A = valores da curva padrão de acordo com os valores referenciais da ISO 717-2 (2013)

B = Níveis de ruído de impacto padronizado da amostra 2 (LR) em decibéis.

C = Resultado entre a diferença entre os valores de B menos os valores de A.

D = 0 (zero) para os valores negativos de C e 1 (um) para os valores positivos de C.

E = 0 (zero) para os valores negativos e os valores positivos de C são repetidos em E, que ao final serão somados.

A soma de E resultou em 31,9 dB, sendo o máximo possível, mas não mais que 32 dB, o que é estabelecido na ISO 717 – 2 (2013). Então, o valor do número global ($L'_{nT,w}$) para a curva Padrão em 500Hz foi de 55,00 dB.

Abaixo a Figura 54 demonstra a confrontação entre os valores em decibéis para o nível do ruído de impacto da Amostra LR em relação aos valores calculados de acordo com a curva padrão da ISO 717-2 (2013):

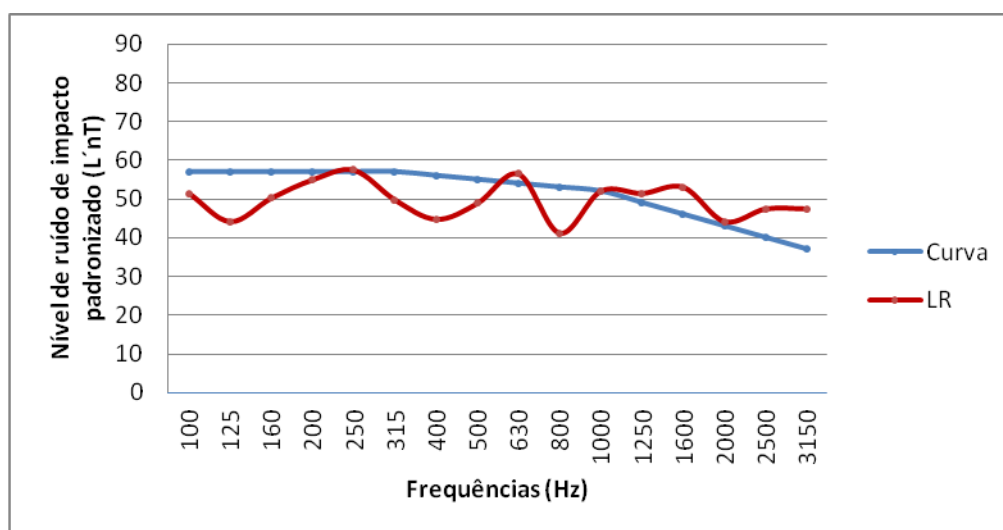


Figura 54 – Comparação entre a curva padrão e o resultado para a amostra LR

Tabela 54 – Número global ($L'_{nT,w}$) da amostra MA

Frequências (Hz)	Curva padrão x nível de ruído de impacto padronizado				
	Curva	L'_{nT} (dB)	Diferença		
	A dB	B dB	C dB	D dB	E dB
100	64	56,3	-7,7	0	0
125	64	54,0	-10	0	0
160	64	61,9	-2,1	0	0
200	64	67,1	3,1	1	3,1
250	64	66,7	2,7	1	2,7
315	64	62,0	-2	0	0
400	63	54,0	-9	0	0
500	62	57,5	-4,5	0	0
630	61	60,3	-0,7	0	0
800	60	46,9	-13,1	0	0
1000	59	58,4	-0,6	0	0
1250	56	56,2	0,2	1	0,2
1600	53	57,3	4,3	1	4,3
2000	50	50,5	0,5	1	0,5
2500	47	54,7	7,7	1	7,7
3150	44	54,7	10,7	1	10,7
Soma				7	29,2

A = valores da curva padrão de acordo com os valores referenciais da ISO 717-2 (2013)

B = Níveis de ruído de impacto padronizado da amostra 3 (MA) em decibéis.

C = Resultado entre a diferença entre os valores de B menos os valores de A.

D = 0 (zero) para os valores negativos de C e 1 (um) para os valores positivos de C.

E = 0 (zero) para os valores negativos e os valores positivos de C são repetidos em E, que ao final serão somados.

A soma de E resultou em 29,2 dB, sendo o máximo possível, mas não mais que 32 dB, o que é estabelecido na ISO 717 – 2 (2013). Então, o valor do número global ($L'_{nT,w}$) para a curva Padrão em 500Hz foi de 62,0 dB.

A seguir a Figura 55 demonstra a confrontação entre os valores em decibéis para o nível do ruído de impacto da Amostra MA em relação aos valores calculados de acordo com a curva padrão da ISO 717-2 (2013):

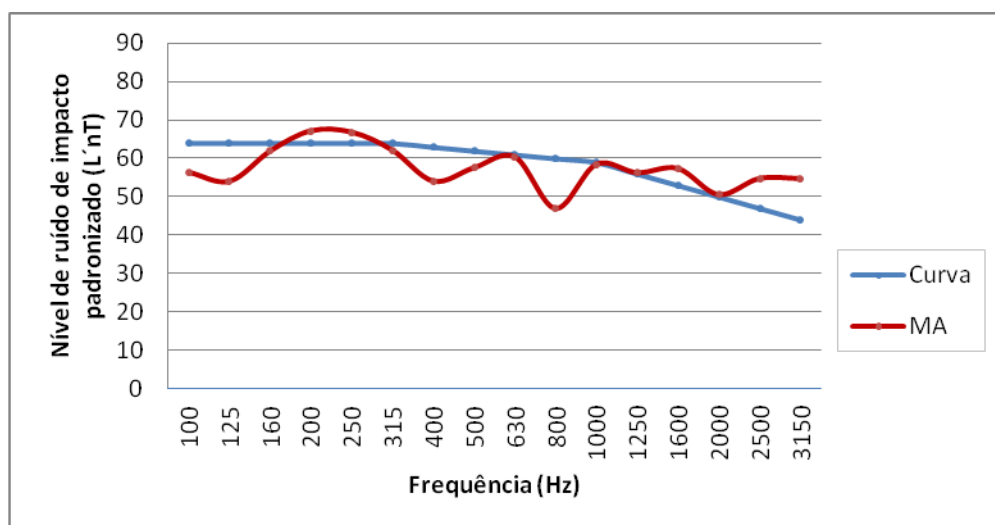


Figura 55 – Comparação entre a curva padrão e o resultado para a amostra MA

Tabela 55 – Número global ($L'_{nT,w}$) da amostra EVA_ar0

Frequências (Hz)	Curva padrão x nível de ruído de impacto padronizado				
	Curva	L'_{nT} (dB)	Diferença		
	A dB	B dB	C dB	D dB	E dB
100	69	63,1	-5,9	0	0
125	69	61,3	-7,7	0	0
160	69	72,7	3,7	1	3,7
200	69	69,7	0,7	1	0,7
250	69	68,6	-0,4	0	0
315	69	70,3	1,3	1	1,3
400	68	63,9	-4,1	0	0
500	67	63,8	-3,2	0	0
630	66	66,5	0,5	1	0,5
800	65	56,2	-8,8	0	0
1000	64	66,1	2,1	1	2,1
1250	61	62,1	1,1	1	1,1
1600	58	61	3	1	3
2000	55	58	3	1	3
2500	52	58,2	6,2	1	6,2
3150	49	54,5	5,5	1	5,5
Soma				10	27,1

A = valores da curva padrão de acordo com os valores referenciais da ISO 717-2 (2013)

B = Níveis de ruído de impacto padronizado da amostra 4 (EVA_ar0cm) em decibéis.

C = Resultado entre a diferença entre os valores de B menos os valores de A.

D = 0 (zero) para os valores negativos de C e 1 (um) para os valores positivos de C.

E = 0 (zero) para os valores negativos e os valores positivos de C são repetidos em E, que ao final serão somados.

A soma de E resultou em 27,1 dB, sendo o máximo possível, mas não mais que 32 dB, o que é estabelecido na ISO 717 – 2 (2013). Então, o valor do número global ($L'_{nT,w}$) para a curva Padrão em 500Hz foi de 67,0 dB.

A seguir a Figura 56 demonstra a confrontação entre os valores em decibéis para o nível do ruído de impacto da Amostra 4 (EVA_ar0cm) em relação aos valores calculados de acordo com a curva padrão da ISO 717-2 (2013):

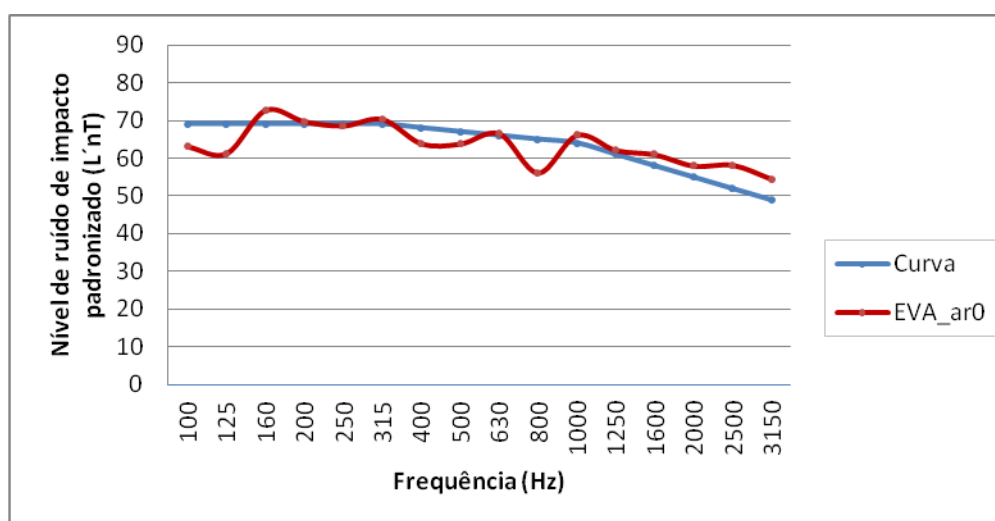


Figura 56 – Comparação entre a curva padrão e o resultado para a amostra 4 (EVA_ar0)

Tabela 56 – Número global ($L'_{nT,w}$) da amostra EVA_ar1

Frequências (Hz)	Curva padrão x nível de ruído de impacto padronizado				
	Curva	L'_{nT} (dB)	Diferença		
	A dB	B dB	C dB	D dB	E dB
100	68	59,7	-8,3	0	0
125	68	55,5	-12,5	0	0
160	68	67,2	-0,8	0	0
200	68	73,1	5,1	1	5,1
250	68	74,7	6,7	1	6,7
315	68	68,1	0,1	1	0,1
400	67	58,8	-8,2	0	0
500	66	65,1	-0,9	0	0
630	65	67,7	2,7	1	2,7
800	64	56,3	-7,7	0	0
1000	63	64,6	1,6	1	1,6
1250	60	59,7	-0,3	0	0
1600	57	59,6	2,6	1	2,6
2000	54	54,1	0,1	1	0,1
2500	51	52,9	1,9	1	1,9
3150	48	49,3	1,3	1	1,3
Soma				9	22,1

A = valores da curva padrão de acordo com os valores referenciais da ISO 717-2 (2013)

B = Níveis de ruído de impacto padronizado da amostra 5 (EVA_ar1cm) em decibéis.

C = Resultado entre a diferença entre os valores de B menos os valores de A.

D = 0 (zero) para os valores negativos de C e 1 (um) para os valores positivos de C.

E = 0 (zero) para os valores negativos e os valores positivos de C são repetidos em E, que ao final serão somados.

A soma de E resultou em 22,1 dB, sendo o máximo possível, mas não mais que 32 dB, o que é estabelecido na ISO 717 – 2 (2013). Então, o valor do número global ($L'_{nT,w}$) para a curva Padrão em 500Hz foi de 66,0 dB.

A seguir a Figura 57 demonstra a confrontação entre os valores em decibéis para o nível do ruído de impacto da Amostra 5 (EVA_ar1cm) em relação aos valores calculados de acordo com a curva padrão da ISO 717-2 (2013):

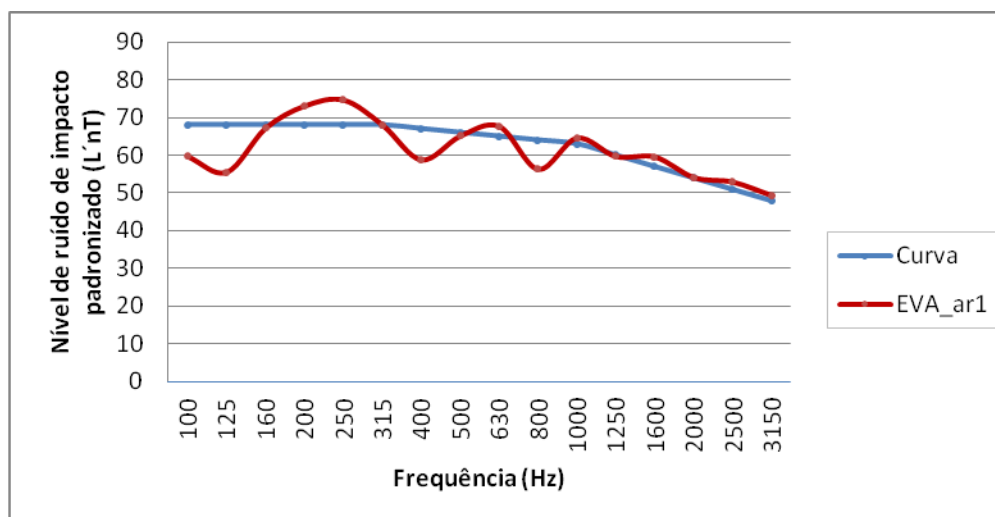


Figura 57 – Comparação entre a curva padrão e o resultado para a amostra 5 (EVA_ar1)

Tabela 57 – Número global ($L'_{nT,w}$) da amostra EVA_ar2,5

Frequências (Hz)	Curva padrão x nível de ruído de impacto padronizado				
	Curva	L'_{nT} (dB)	Diferença		
	A dB	B dB	C dB	D dB	E dB
100	66	62,7	-3,3	0	0
125	66	61,7	-4,3	0	0
160	66	69,4	3,4	1	3,4
200	66	70,1	4,1	1	4,1
250	66	70,7	4,7	1	4,7
315	66	65,4	-0,6	0	0
400	65	57,9	-7,1	0	0
500	64	63,0	-1	0	0
630	63	64,4	1,4	1	1,4
800	62	54,6	-7,4	0	0
1000	61	63,2	2,2	1	2,2
1250	58	59,4	1,4	1	1,4
1600	55	59,1	4,1	1	4,1
2000	52	52,2	0,2	1	0,2
2500	49	51,9	2,9	1	2,9
3150	46	48,0	2	1	2
Soma				10	26,4

A = valores da curva padrão de acordo com os valores referenciais da ISO 717-2 (2013)

B = Níveis de ruído de impacto padronizado da amostra 6 (EVA_ar2,5cm) em decibéis.

C = Resultado entre a diferença entre os valores de B menos os valores de A.

D = 0 (zero) para os valores negativos de C e 1 (um) para os valores positivos de C.

E = 0 (zero) para os valores negativos e os valores positivos de C são repetidos em E, que ao final serão somados.

A soma de E resultou em 26,4 dB, sendo o máximo possível, mas não mais que 32 dB, o que é estabelecido na ISO 717 – 2 (2013). Então, o valor do número global ($L'_{nT,w}$) para a curva Padrão em 500Hz foi de 64,0 dB.

A seguir a Figura 58 demonstra a confrontação entre os valores em decibéis para o nível do ruído de impacto da Amostra 6 (EVA_ar2,5cm) em relação aos valores calculados de acordo com a curva padrão da ISO 717-2 (2013):

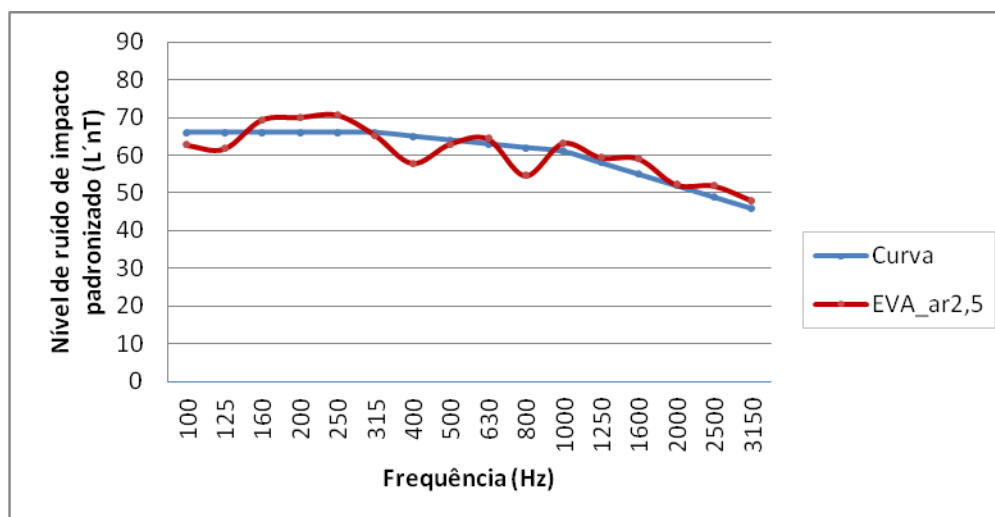


Figura 58 – Comparação entre a curva padrão e o resultado para a amostra 6 (EVA_ar2,5)

Tabela 58 – Número global ($L'_{nT,w}$) da amostra EVA_ar0+d

Frequências (Hz)	Curva padrão x nível de ruído de impacto padronizado				
	Curva	L'_{nT} (dB)	Diferença		
	A dB	B dB	C dB	D dB	E dB
100	66	60,0	-6	0	0
125	66	57,8	-8,2	0	0
160	66	65,7	-0,3	0	0
200	66	64,6	-1,4	0	0
250	66	70,5	4,5	1	4,5
315	66	66,1	0,1	1	0,1
400	65	60,2	-4,8	0	0
500	64	59,7	-4,3	0	0
630	63	65,8	2,8	1	2,8
800	62	55,4	-6,6	0	0
1000	61	62,9	1,9	1	1,9
1250	58	59,4	1,4	1	1,4
1600	55	59,4	4,4	1	4,4
2000	52	54,9	2,9	1	2,9
2500	49	53,7	4,7	1	4,7
3150	46	53,3	7,3	1	7,3
Soma				9	30,0

A = valores da curva padrão de acordo com os valores referenciais da ISO 717-2 (2013)

B = Níveis de ruído de impacto padronizado da amostra 7 (EVA_ar0+d) em decibéis.

C = Resultado entre a diferença entre os valores de B menos os valores de A.

D = 0 (zero) para os valores negativos de C e 1 (um) para os valores positivos de C.

E = 0 (zero) para os valores negativos e os valores positivos de C são repetidos em E, que ao final serão somados.

A soma de E resultou em 30,0 dB, sendo o máximo possível, mas não mais que 32 dB, o que é estabelecido na ISO 717 – 2 (2013). Então, o valor do número global ($L'_{nT,w}$) para a curva Padrão em 500Hz foi de 64,0 dB.

A seguir a Figura 59 demonstra a confrontação entre os valores em decibéis para o nível do ruído de impacto da Amostra 7 (EVA_ar0+d) em relação aos valores calculados de acordo com a curva padrão da ISO 717-2 (2013):

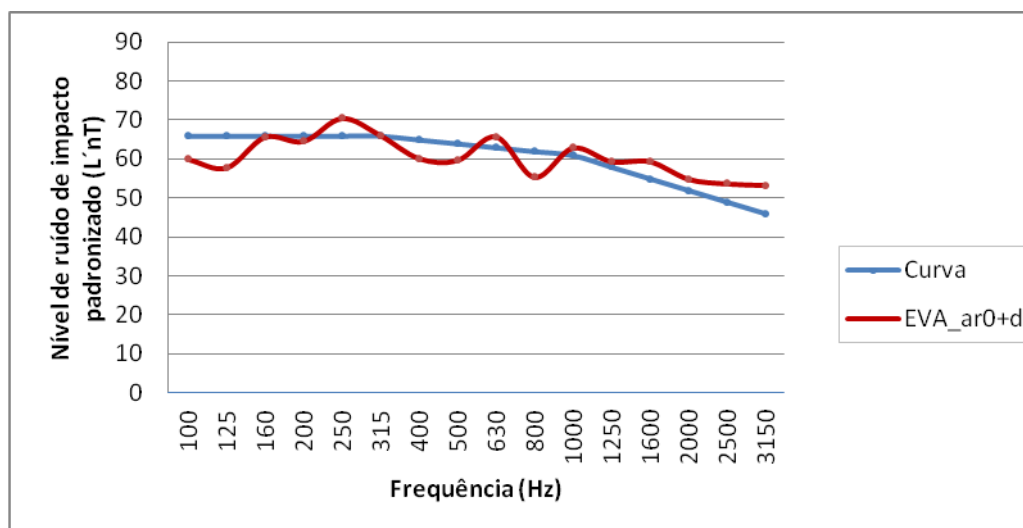


Figura 59 – Comparação entre a curva padrão e o resultado para a amostra 7 (EVA_ar0+d)